



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**NÁVRH PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANY NA
VYBRANÉ ČÁSTI TOKU**

DESIGN OF FLOOD PROTECTION ON SELECTED LOCATION OF THE RIVER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Monika Filípková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Duchan, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ programu	studijního Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Monika Filípková
Název	Návrh protipovodňové ochrany na vybrané části toku
Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

- 1) Příčné a podélné profily úseku toku
- 2) Situace a digitální model terénu
- 3) Hydrologické podklady

Literatura:

- 1) Ven Te Chow, Open-Channel Hydraulics, 1959
- 2) Studijní opora "Proudění v systémech říčních koryt" a "Projekt vodní stavby".
- 3) ES 2007. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik.
- 4) MŽP ČR 2009. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. VÚV T.G. Masaryka v.v.i, Brno. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
- 5) Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na vybrané lokalitě bude provedeno ověření kapacity koryta. Dále budou stanoveny rozlivy při povodňových průtocích. Na základě hydraulických výpočtů bude proveden návrh úpravy toku a protipovodňové ochrany.

Výstupy:

- 1) Textová část
- 2) Mapové výstupy

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. David Duchan, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá hydraulickým posúdením kapacity vodného toku pre povodňové prietoky na rieke Litava v riečnom kilometri 11,505 – 18,315 pomocou programu HEC-RAS 5.0.5, konkrétne 1D-2D numerického modelu. Na základe rozlivov, hĺbok a rýchlostí prebehlo vyhodnotenie výsledkov a následne bol vytvorený vlastný návrh protipovodňovej ochrany.

ABSTRACT

The master's thesis deals with the hydraulic analysis of the water flow capacity for the flood flow on the river Litava in the river kilometres 11,550 – 18,315 using the HEC-RAS 5.0.5 specifically 1D-2D numerical model. On the basis of flood areas, depths and speeds the results were evaluated and subsequently was created own proposal flood protection.

KLÍČOVÁ SLROVA

Litava, HEC-RAS, 1D, 2D, rozliv vody, úprava toku, protipovodňová ochrana

KEYWORDS

Litava, HEC-RAS, 1D, 2D, flood areas, river adaptation, flood protection

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA VŠKP

Bc. Monika Filípková *Návrh protipovodňové ochrany na vybrané části toku*. Brno, 2018. 66 s., 33 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Veľké ďakujem patrí môjmu vedúcemu diplomovej práce Ing. Davidovi Duchanovi, PhD za ochotu poradiť a pomôcť, tiež za trpezlivosť a za odborné rady. Ďalej ďakujem mojej rodine a kamarátom za podporu a za ústretové správanie sa v najťažších chvíľkach.

PROHLÁŠENÍ

Prehlasujem, že diplomovú prácu som spracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje.

V Brně dňa 11.1. 2019

.....

Bc. Monika Filípková

Autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh protipovodňové ochrany na vybrané části toku* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dňa 11. 1. 2019

.....

Bc. Monika Filípková

autor práce

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Autor práce	Bc. Monika Filípková
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav vodních staveb
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Název práce	Návrh protipovodňové ochrany na vybrané části toku
Název práce v anglickém jazyce	Design of flood protection on selected location of the river
Typ práce	Dipolomová práce
Přidělovaný titul	Ing.
Jazyk práce	Slovenčina
Datový formát elektronické verze	PDF
Abstrakt práce	Diplomová práca sa zaoberá hydraulickým posúdením kapacity vodného toku pre povodňové prietoky na rieke Litava v riečnom kilometri 11,505 – 18,315 pomocou programu HEC-RAS 5.0.5, konkrétne 1D-2D numerického modelu. Na základe rozlivov, hĺbok a rýchlostí prebehlo vyhodnotenie výsledkov a následne bol vytvorený vlastný návrh protipovodňovej ochrany.

Abstrakt práce v anglickém jazyce The master's thesis deals with the hydraulic analysis of the water flow capacity for the flood flow on the river Litava in the river kilometres 11,550 – 18,315 using the HEC-RAS 5.0.5 specifically 1D-2D numerical model. On the basis of flood areas, depths and speeds the results were evaluated and subsequently was created own proposal flood protection.

Klíčová slova Litava, HEC-RAS, 1D, 2D, rozliv vody, úprava toku, protipovodňová ochrana

Klíčová slova v anglickém jazyce Litava, HEC-RAS, 1D, 2D, flood areas, river adaptation, flood protection

OBSAH

1	ÚVOD	12
2	CIELE PRÁCE.....	13
3	VÝCHODZIE PODKLADY	14
4	PRÚDENIE VODY V JEDNOROZMERNOM (1D) PROSTREDÍ	15
4.1	Prúdenie kvapaliny	15
4.2	Metóda po úsekoch	15
5	PRÚDENIE VODY V DVOJROZMERNOM (2D) PROSTREDÍ.....	17
5.1	Základné rovnice pre výpočet	17
6	ZÁUJMOVÁ LOKALITA	20
6.1	Správne údaje	20
6.2	Údaje o povodí	20
6.3	Geologické pomery	21
6.4	Hydrogeologické pomery	22
6.5	Hydrologické pomery.....	22
6.6	Klimatické pomery	23
6.7	Pedologické pomery	24
6.8	Objekty v danej lokalite	24
7	POSTUP RIEŠENIA.....	27
7.1	HEC-RAS.....	27
7.2	AutoCad CIVIL 3D.....	27
7.3	GIS (Geografický informačný systém)	27
7.4	Postup práce v programoch	28
8	OVERENIE KAPACITY – 1D	32
8.1	Úvod – nastavenie programu	32
8.2	Posúdenie kapacity pôvodného koryta.....	33
9	VÝPOČET ROZLIVOV – 2D.....	37
9.1	Úvod – nastavenie programu	37
9.2	Výsledky 2D modelovania	40
10	NÁVRH ÚPRAVY A PPO	42
10.1	Úvod.....	42
10.2	Vlastný návrh PPO	49
10.3	Hydraulické overenie návrhu	54
11	ZÁVER.....	58
12	LITERATÚRA	59
13	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	61
14	ZOZNAM TABULIEK.....	63
15	ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV.....	64
16	ZOZNAM PRÍLOH	66

1 ÚVOD

„Voda, kterou právě vidíme v řece, je poslední z té, co odplynula a první z té, co přitéká.“ [Leonardo Da Vinci]

Diplomová práca je zameraná na posúdenie kapacity vybraného vodného toku, posúdenie kapacity mostných objektov na toku a následne návrh protipovodňovej ochrany (PPO). Záujmová lokalita sa nachádza na menšej rieke Litava v okolí obce Újezd u Brna, v riečnom kilometri 11,505 – 18,315. Celková dĺžka je 6,81 km. Vodný tok preteká ako extravilánom tak aj intravilánom, na čo sa pri návrhu PPO musí prihliadať.

V záujmovej oblasti sa nachádzajú dôležité inštitúcie, kde je nutné zabrániť rozlievaniu sa vody z koryta rieky a tak isto sa tu nachádzajú aj voľné priestranstvá, polia a lúky, kde je možnosť povoliť rozliv vody.

Toto posúdenie bolo uskutočnené v programe HEC-RAS, pomocou 1D - 2D modelovania a následne na základe výsledkov bol vypracovaný vhodný návrh opatrení.

2 CIELE PRÁCE

Cieľom diplomovej práce je vytvorenie 1D-2D modelu v programe HEC-RAS pre výpočet prúdenia vody v roku a v záplavových územiach rieky Litava na riečnom kilometri 11,505 – 18,315. V 1D modeli sa overí kapacita koryta a na základe 2D modelu sa určí veľkosť rozlivov. Na základe výsledkov sa vytvorí návrh vhodnej PPO a na záver sa návrh overí. Postup práce sa delí do nasledovných krokov:

- stanovenie kapacity koryta,
- určenie rozlivov,
- porovnanie súčasných a vypočítaných rozlivov,
- vypracovanie máp hĺbok a rozlivov,
- ideový návrh PPO,
- hydraulické overenie PPO.

3 VÝCHODZIE PODKLADY

K spracovaniu diplomovej práce boli poskytnuté nasledovné podklady:

[A] POVODÍ MORAVY, s.p., september 2004, rieka Litava, priečne profily 0,000 – 38,520 r. km. Formát DWG.

[B] POVODÍ MORAVY, s.p., september 2004, rieka Litava, pozdĺžny profil 0,000 – 38,520 r. km. Formát DWG.

[C] POVODÍ MORAVY, s.p., september 2004, rieka Litava, Hydrologické údaje. Textový dokument.

[D] POVODÍ MORAVY, s.p., september 2004, rieka Litava, Situácia so zameranými priečnymi profilmi. Formát DWG.

[E] Databáza DIBAVOD, 2018. Rozlivy pri Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , osy toku, km toku. Formát SHP

4 PRÚDENIE VODY V JEDNOROZMERNOM (1D) PROSTREDÍ

V otvorených korytách existuje niekoľko typov prúdenia vody s voľnou hladinou a tieto spôsoby sa od seba líšia rôznymi kritériami.

4.1 Prúdenie kvapaliny

Prúdenie v otvorenom koryte delíme na:

- **Ustálené (stacionárne)** – hydraulické veličiny (prietok, prierezová rýchlosť, prietochná plocha) sa v čase nemenia a sú závislé len na polohe.
- **Neustálené (nestacionárne)** – hydraulické veličiny sú funkciou času aj polohy.
- **Rovnomerné** – je zvláštnym prípadom ustáleného prúdenia, pri ktorom sú prietochné prierezy na celom úseku konštantné. Pretože pri ustálenom prúdení je prietok vody Q konštantný, prierezové rýchlosti sú tiež konštantné, a to nastáva pri konštantnom sklone dna koryta, pri jeho konštantných drsnostiach a nemenných priečných profiloch.
- **Nerovnomerné** – hydraulické veličiny sú konštantné v čase, ale prierezová rýchlosť a prietochná plocha sa menia po dĺžke prúdu, čo je dané napríklad premenlivým sklonom dna koryta, premennými priečnymi profilmi, drsnosťami a atď. [1]

V rámci diplomovej práce je uvažované ustálené nerovnomerné prúdenie, ktoré program HEC – RAS rieši pomocou metódy po úsekoch.

4.2 Metóda po úsekoch

Táto metóda, ktorá je založená na postupnom riešení patrí medzi najpoužívanejšie. Čo sa týka použitia metódy po úsekoch, tak je to možné použiť v prípade prizmatických aj prirodzených korýt. Vychádza z Bernoulliho rovnice a spočíva v postupnom hľadaní druhej hĺbky na úseku ΔL vid' obr. 4.1. Koryto sa rozdelí na úseky o dĺžkach ΔL_j a predpokladá sa, že prietochné profily sa menia spojitou hodnotou S_i , v_i v hornom profile na hodnoty S_{i+1} , v_{i+1} v dolnom profile. Medzi dvomi profilmi je priemerný sklon dna i_{0j} a celková stratová výška h_{zj} . Potom už riešenie vyplýva z Bernoulliho rovnice. [1]

$$i_{0j} * \Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj} \quad (4.1)$$

ak označíme rozdiel hladín na úseku Δh_j :

$$\Delta h_j = i_{0j} * \Delta L_j + h_i - h_{i+1} \quad (4.2)$$

po úprave dostaneme:

$$\Delta h_j = \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + h_{zj}, \text{ kde} \quad (4.3)$$

g – tiažové zrýchlenie [$9,806 \text{ m/s}^2$],

α – Coriolisovo číslo [-],

v_i, v_{i+1} – rýchlosť v daných profiloch,

h_{zj} – súčet strát trením a miestnych strát na danom úseku.

Celkovú stratovú výšku h_{zj} dostaneme ako súčet strát trením h_{tj} a strát miestnych h_{mj} :

$$h_{zj} = h_{tj} + h_{mj} \quad (4.4)$$

príčom stratovú výšku trením vyjadríme z Chézyho rovnice, kde i_{pj} je priemerný sklon čiar energie:

$$h_{zj} = i_{pj} \cdot \Delta L_j \quad (4.5)$$

Miestne straty vyjadríme ako časť absolútnej hodnoty rozdielu rýchlostných výšok, kde ξ je súčiniteľ miestnej straty:

$$h_{mj} = \xi \cdot \left| \frac{\alpha v_{i+1}^2 - \alpha v_i^2}{2g} \right| \quad (4.6)$$

Výpočet sklonu čiar energie vychádza z Chézyho rovnice:

$$i_{pj} = \frac{Q^2}{S_{pj}^2 \cdot C_{pj}^2 \cdot R_{pj}}, \text{ kde} \quad (4.7)$$

Q – prietok daným úsekom koryta [m^3/s],

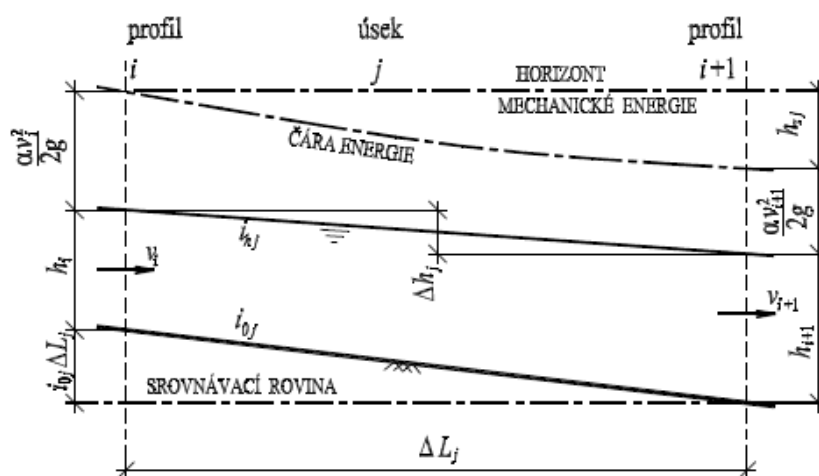
S_{pj} – priemerná hodnota prietochnej plochy medzi susednými profilmi [m^2],

C_{pj} – priemerná hodnota Chézyho súčiniteľa medzi susednými profilmi,

R_{pj} – priemerná hodnota hydraulického polomeru medzi susednými profilmi.

Smer postupu riešenia závisí na režime prúdenia:

- Ak je **riečne** prúdenie, tak sa postupuje v smere **proti prúdu**, pričom platí, že pri rozdieli rýchlostných výšok sa dáva znamienko + pre riešenie krivky vzduť a znamienko – pre riešenie krivky zníženia
- Potom pri **bystrinnom** prúdení sa postupuje v smere **po prúde**, pričom platí, že pri rozdieli rýchlostných výšok sa dáva znamienko – pre riešenie krivky vzduť a + pre riešenie krivky zníženia [1]



Obr. 4.1: Schéma pre výpočet nerovnomerného prúdenia [1]

5 PRÚDENIE VODY V DVOJROZMERNOM (2D) PROSTREDÍ

V dvojrozmernom 2D prúdeň vody sa počíta s tým, že voda neprúdi iba v koryte, ale predpokladá sa aj s faktom, že sa voda vybreží do inundácie, a tým pádom zaplavuje priláhnuté územie.

Od tohto predpokladu vyplývajú aj 2D modely, ktoré umožňujú poskytnúť informácie tiež o plošnom rozdelení hĺbok a rýchlostí. Tieto 2D modely sú náročnejšie ako 1D modely a to už pri zadávaní vstupných dát či údajov. Vstupné dáta potrebné pre 2D modelovanie sú geometria vo forme DMR (digitálneho modelu reliéfu), okrajové podmienky, vymedzenie oblasti rozlivov a ďalšie údaje.

Pri výpočtoch 2D prúdeň sa vychádza z **Navier-Stokesových rovníc**, ktoré popisujú pohyb vody v troch dimenziách. Keďže v prirodzených tokoch je veľmi malá zložka rýchlosti v smere Z, tak sa môže zanedbať. Za predpokladu zanedbania prúdeň vody v smere Z vznikajú tzv. rovnice plytkej vody. [2]

Ďalej sa pre 2D prúdeň uvažuje nestlačiteľná kvapalina a počíta sa s izometrickým dejom. Ako neznáme funkcie sú:

- zvislicová rýchlosť $v_s(x, y, t)$ – skladá sa zo zložky v smere osy x a y a je závislá na čase,
- hĺbka vody $h(x, y, t)$,
- turbulentná viskozita $\mu_t(x, y, t)$.

5.1 Základné rovnice pre výpočet

Tieto základné rovnice pre výpočet prúdeň vychádzajú zo zákona zachovania hmotnosti, respektíve z rovnice kontinuity, tiež zo zákona zachovania hybnosti, to znamená z pohybovej rovnice.

Rovnica kontinuity:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{xs})}{\partial x} + \frac{\partial(hv_{ys})}{\partial y} = 0, \text{ kde} \quad (5.1)$$

H – je nadmorská výška hladiny vody [m n.m.],

h – hĺbka vody [m],

v_{xs} – vektor rýchlosti v smere x [m/s],

v_{ys} – vektor rýchlosti v smere y [m/s].

Pohybová rovnica v smere x :

$$\frac{\partial(hv_{xs})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{xs}^2)}{\partial x} + \frac{\partial(hv_{xs}v_{ys})}{\partial y} - f * h * v_{ys} = \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial y} + \tau_x^{hlad} + \tau_x^{dno} \quad (5.2)$$

Pohybová rovnica v smere y:

$$\frac{\partial(hv_{ys})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{ys}^2)}{\partial y} + \frac{\partial(hv_{xs}v_{ys})}{\partial x} - f * h * v_{ys} = \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial y} + \tau_y^{hlad} + \tau_y^{dno}, \text{ kde} \quad (5.3)$$

t – je čas [s],

h – hĺbka vody v profile [m],

v_x a v_y – zložky vektoru rýchlosti v smere x a y [m/s],

x a y – vzdialenosti od osy x a y [m],

f – Coriolisov parameter [-],

τ – smykové napätia v dne a hladine [Pa],

T – turbulentné smykové napätia [Pa].

Program HEC-RAS využíva zmiešavaciu rovnicu a turbulentný model, ktoré sú popísané v manuály HEC-RAS. [2]

Za počiatočné podmienky slúžia priebehy funkcií $v_{x0}(x, y)$, $v_{y0}(x, y)$ a $h_0(x, y, t)$ vo všetkých bodoch náhradnej oblasti Ω v čase $t_0 = 0$:

$$v_x(x, y, t_0) = v_{x0}(x, y) \quad (5.4)$$

$$v_y(x, y, t_0) = v_{y0}(x, y) \quad (5.5)$$

$$h(x, y, t_0) = h_0(x, y) \quad (5.6)$$

Za okrajové podmienky boli zvolené priebehy funkcií na hraniciach náhradnej oblasti Ω , a to na hornej a dolnej hranici:

Horná hranica Γ_1 :

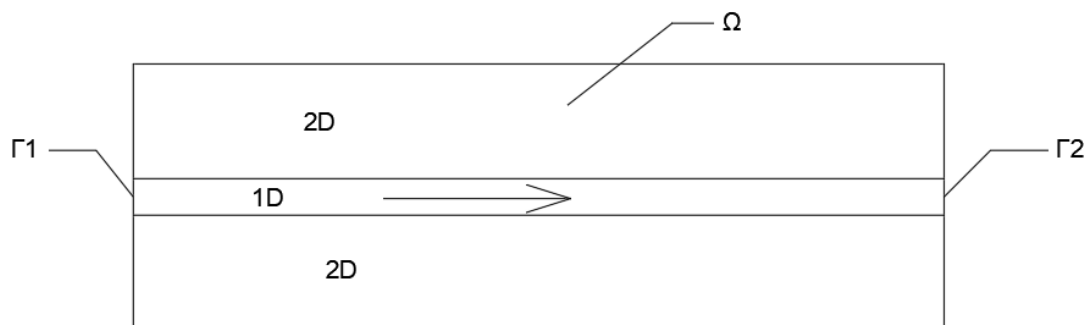
$$v_x(x, y, t) = v_x(t)/\Gamma_1 \quad (5.7)$$

$$v_y(x, y, t) = v_y(t)/\Gamma_1 \quad (5.8)$$

Dolná hranica Γ_2 :

$$h(x, y, t) = h(t)/\Gamma_2 \quad (5.9)$$

Cieľom riešenia týchto rovníc je nájsť neznáme funkcie v_x , v_y , a h , pričom musia splniť počiatočné podmienky a okrajové podmienky. Ďalej je samozrejmosťou, že musia vyhovovať rovniciam (5.1), (5.2) a (5.3). [2][3]



Obr. 5.1: Schéma pre výpočtovej oblasti

6 ZÁUJMOVÁ LOKALITA

6.1 Správne údaje

Záujmové územie vybrané pre diplomovú prácu sa nachádza v okolí obce Újezd u Brna. Toto územie leží v Jihomoravskom kraji, konkrétne v okrese Brno – venkov. Jedná sa o rieku Litavu, ktorá preteká danou obcou vid' obr. 6.1. Riešený úsek sa nachádza medzi 11,505 – 18,315 riečnym kilometrom. Celková záujmová dĺžka je to 6,81 km. Detailnejšia mapa záujmovej lokality sa nachádza v príloha č. 2 a 3.

Správca toku je povodie Moravy s.p. a číslo hydrologického poradia je 4-15-03-089.



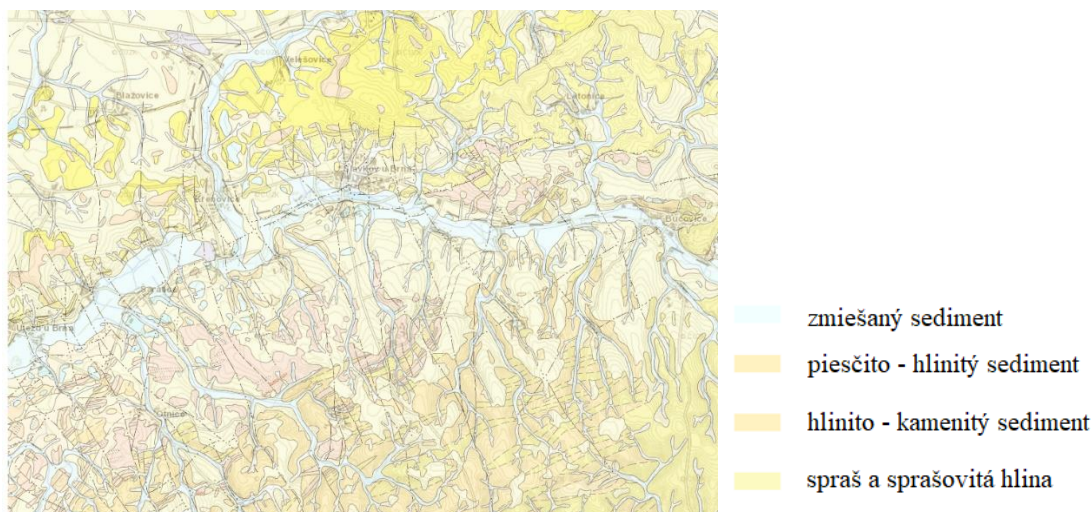
Obr. 6.1: Lokalizácia riešeného územia rieky Litava [4]

6.2 Údaje o povodí

Ako už bolo spomenuté, Litava patrí do povodia rieky Moravy. Litava pramení v Chříbech v obci Zástřízly, pričom odvádza vodu z oblasti Chříbov a Litenčických vrchov. Celková dĺžka rieky je 58,3 km a jej malé povodie zaberá 789,8 km². Tečie západným smerom a v Židlochoviciach ústí na ľavom brehu do rieky Svratky na jej 23,40 riečnom kilometri v nadmorskej výške 179,28 m n.m. Svratka sa ďalej vlieva do Dyje a tá následne do Moravy. Celé povodie Moravy je veľké 9 973 km². Lokalita je vidieť na obrázku č. 6.2.

Medzi významné prítoky rieky Litavy patria:

- ľavostranné prítoky – Milešovický potok, Hranečnický potok a Moutnický potok,
- pravostranné prítoky – Litavka, Litenčický potok, Hvězdlička, Žlebový potok, Rakovec, Říčka a Dunávka. [5]



Obr. 6.3: Geologické pomery v záujmovej lokalite [7]

6.4 Hydrogeologické pomery

Z hľadiska odtoku povrchových vôd je Český masív tvorený nepriepustnými horninami, kde iba málo mocná vrstva je priepustná, a preto povrchový odtok je rýchlejší. Údolie vyplňujú diluviálne a aluviálne náplavy značnej sily, ktoré sú tiež veľmi nepriepustné. To spôsobuje, že pri povodniach sa značná časť vody stráca v podzemných puklinách a trhlínach pôdy inundačného územia a zmierňuje to záplavy v dolných častiach toku.

Kvôli skalnatému podložiu a nedostatku spodnej vody sa tu vyskytujú hlavne puklinové pramene, konkrétne na obidvoch stranách rieky Litavy. Tieto aluviálne vody s malým prítokom ($< 1 \text{ l/s}$) sa vyskytujú v alúviách vodných tokov, kde aluviálne sedimenty vykazujú značné mocnosti (2 – 4 m). [8][6]

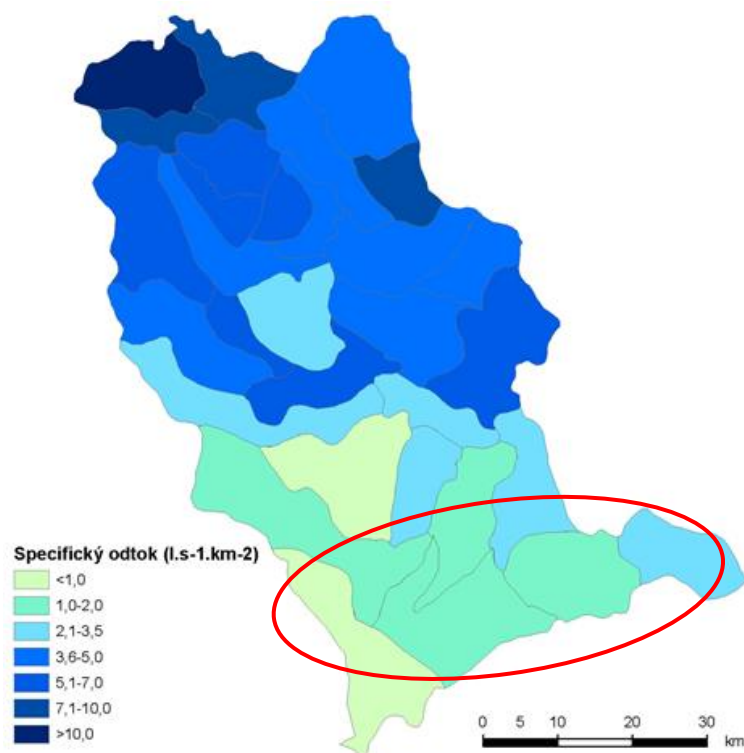
6.5 Hydrologické pomery

Ako bolo spomenuté, Litava pramení v Chříbech a tečie skoro celou svojou dĺžkou na západ až k Slavkovu u Brna, kde sa stáča na juhozápad a tento smer dodržiava až k ústiu. Litava zbiera svoje vody z oblasti prevažne poľnohospodársky využívanej. Nemá hlboké údolie ako napríklad Svratka a Svitava. Litava preteká najsuchšou oblasťou povodia Svratky.

Hydrologické údaje pre hlásny profil v profile pod Milešovským potokom sú uvedené v tab. 6.1:

Tab. 6.1: N- roční prietoky z hlásneho profilu pod Milešovským potokom. [C]

Q_N	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
m^3/s	15,5	21,0	28,5	34	40,5	49	55,5



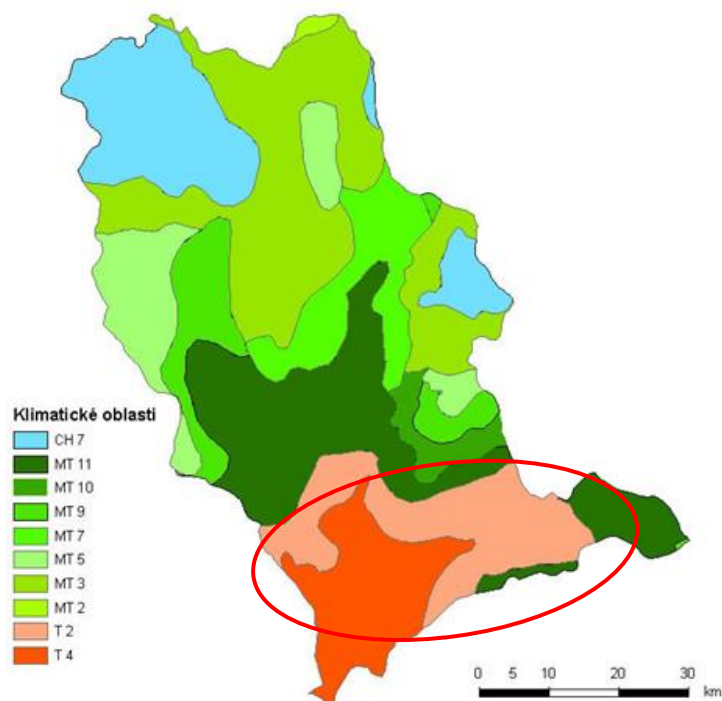
Obr. 6.4: Špecifický odtok z oblasti [8]

6.6 Klimatické pomery

Klimatické pomery v danej oblasti sú podľa OUITTA (1970) značené ako T2 (oranžová) a T4 (červená), čo značí teplú oblasť (obr. 6.5). Charakteristiky pre túto oblasť sú vidieť v tabuľke 6.2.

Tab. 6.2: Tabuľka klimatických charakteristík [8]

Klimatická charakteristika	Klimatická oblasť	
	T 2	T 4
Počet letných dní	50-60	60-70
Počet dní s priemernou $t \geq 10^{\circ}\text{C}$	160-170	170-180
Počet mrazových dní	100-110	100-110
Počet ľadových dní	30-40	30-40
Priemerná teplota v januári ($^{\circ}\text{C}$)	1	1
Priemerná teplota v júly ($^{\circ}\text{C}$)	18-19	19-20
Priemerná teplota v apríly ($^{\circ}\text{C}$)	8.9	9.10
Priemerná teplota v októbri ($^{\circ}\text{C}$)	7.9	9.10
Priemerný počet dní so zrážkami $\geq 1 \text{ mm}$	90-100	80-90
Zrážkový úhrn vo vegetačnom období (mm)	350-400	300-350
Zrážkový úhrn v zimnom období (mm)	200-300	200-300
Počet dní so snehovou pokrývkou	40-50	40-50
Počet dní zamračených	120-140	110-120
Počet dní jasných	40-50	50-60



Obr. 6.5: Klimatické oblasti povodia Svratky (QUITT 1970) [8]

6.7 Pedologické pomery

V záujmovej lokalite rieky Litavy sa vyskytujú rôzne pôdne typy:

- hlinité pôdy – vykazujú dobrú vzdušnú kapacitu a zlú vodnú kapacitu,
- aluviálne náplavy – pokrývajú väčšie plochy pozdĺž Litavy, kde vyplňujú dno údolia a tiež pokrývajú dno terénnych úžľabín, kde prívalové dažde z priľahlých svahov splachujú jemný pôdny materiál. [9]

6.8 Objekty v danej lokalite

Lokalita vybraného úseku toku Litava prechádza obcou Újezd u Brna, kde sa na obidvoch stranách toku nachádza zástavba, tak isto z veľkej časti rieka tečie mimo obce, kde sa nachádzajú polia. Pričom na tomto úseku sa nachádzajú nasledovné objekty. Hodnoty staničenia objektov sú uvedené v riečnych kilometroch (ďalej len r. km): [A,B]

- | | |
|---------------|-------------------------|
| • Cestný most | r. km 11,531 (obr. 6.6) |
| • Cestný most | r. km 12,780 |
| • Limnigraf | r. km 13,607 |
| • Cestný most | r. km 13,613 |
| • Cestný most | r. km 14,009 |
| • Cestný most | r. km 16,705 (obr. 6.7) |
| • Cestný most | r. km 17,636 (obr. 6.8) |
| • Cestný most | r. km 18,291 |

Most na začiatku úseku, ktorý je už v dnešnej dobe zrekonštruovaný. Oproti poskytnutým podkladom z roku 2004 je tvar mostu a pilierov nezmenený.



Obr. 6.6: Cestný most na začiatku úseku 11,531 r. km (pohľad v proti smere prúdenia)

Ďalší menší cestný most, ktorý sa nachádza v zlom stave. Po bokoch sú vidieť veľké praskliny, ktoré pri povodni môžu spôsobiť zrútenie mostu. Most je vhodný k rekonštrukcii.



Obr. 6.7: Cestný most 16,705 r. km (pohľad v smere prúdenia)



Obr. 6.8: Cestný most 17,636 r. km (pohľad v proti smere prúdenia)

7 POSTUP RIEŠENIA

Pri riešení diplomovej práce boli použité programy HEC-RAS, GIS a CIVIL 3D, ktoré pomáhajú pri výpočtoch, pri zobrazovaní a spracovávaní vstupných údajov a dát.

7.1 HEC-RAS

Počítačový program HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) bol vyvinutý tímom inžinierov Americkéj armády za účelom správy riek, prístavov a iných podobných vecí. Tento program slúži k analýze celej riečnej siete, modeluje prúdenie vody prírodných riek a iných kanálov. V dnešnej dobe existuje v programe 1D modelovanie a od verzie 5.0 program umožňuje aj 2D modelovanie.

Výpočet je založený na Bernoulliho rovnici, rovnici kontinuity, pohybovej rovnici a ďalších odvodených rovniciach. Umožňuje výpočet v niekoľkých režimoch, a to konkrétne ustálené prúdenie, neustálené prúdenie, transport splavenín a sedimentov a analýza kvality vody.

Všetky režimy počítajú s geometrickými aj hydrologickými dátami. Geometrické dáta obsahujú napríklad riečny systém znázornený pomocou osy toku, tiež priečne profily umiestnené na ose a aj objekty. Dobrá funkcia je interpolácia medzi priečnymi profilmi na uľahčenie práce. Do programu je možné vložiť aj digitálny model terénu. [10]

7.2 AutoCad CIVIL 3D

Program AutoCAD Civil 3D je výkonná integrovaná aplikácia pre modelovanie a efektívnejšie projektovanie v oblastiach: doprava a líniové stavby, projekty obytných a obchodných zón, práca s krajinou, potrubím, kanálmi, rekultiváciou, sanáciou, ťažbou nerastných surovín a ďalších.

Aplikácia si vie vytvoriť digitálny model z daného zamerania terénu a tiež vytvárať priečne a pozdĺžne rezy terénu. [11]

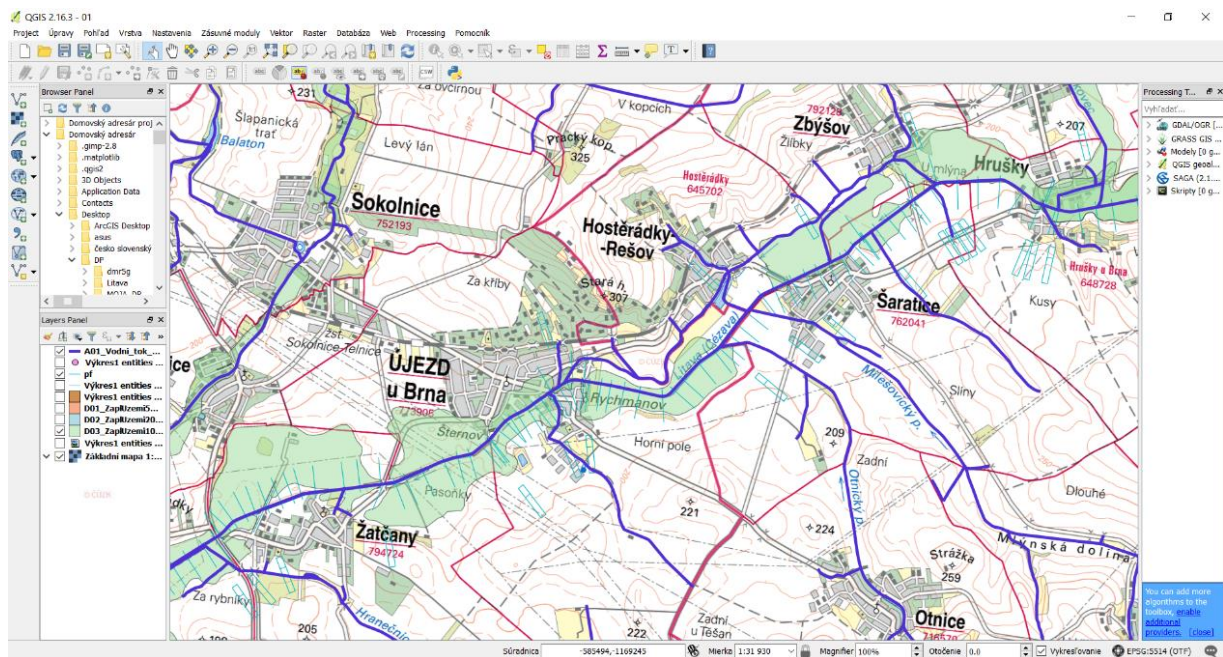
7.3 GIS (Geografický informačný systém)

Program GIS je organizovaný súhrn počítačovej techniky, programového vybavenia a geografických dát navrhnutý tak, aby mohol efektívne získavať, ukladať, aktualizovať, analyzovať, prenášať a zobrazovať všetky druhy geografických vzťahných informácií. Je to predovšetkým nástroj, ktorý umožňuje používateľom vytvárať, vyhodnocovať a upravovať dáta a nakoniec prezentovať výsledky. Výstupom môže byť mapa, trojrozmerný model územia, prípadne dynamická animácia konkrétneho javu. Program GIS je spárovaný s mapovými servermi pre publikáciu mapových služieb (tzv. WMS služby). [12]

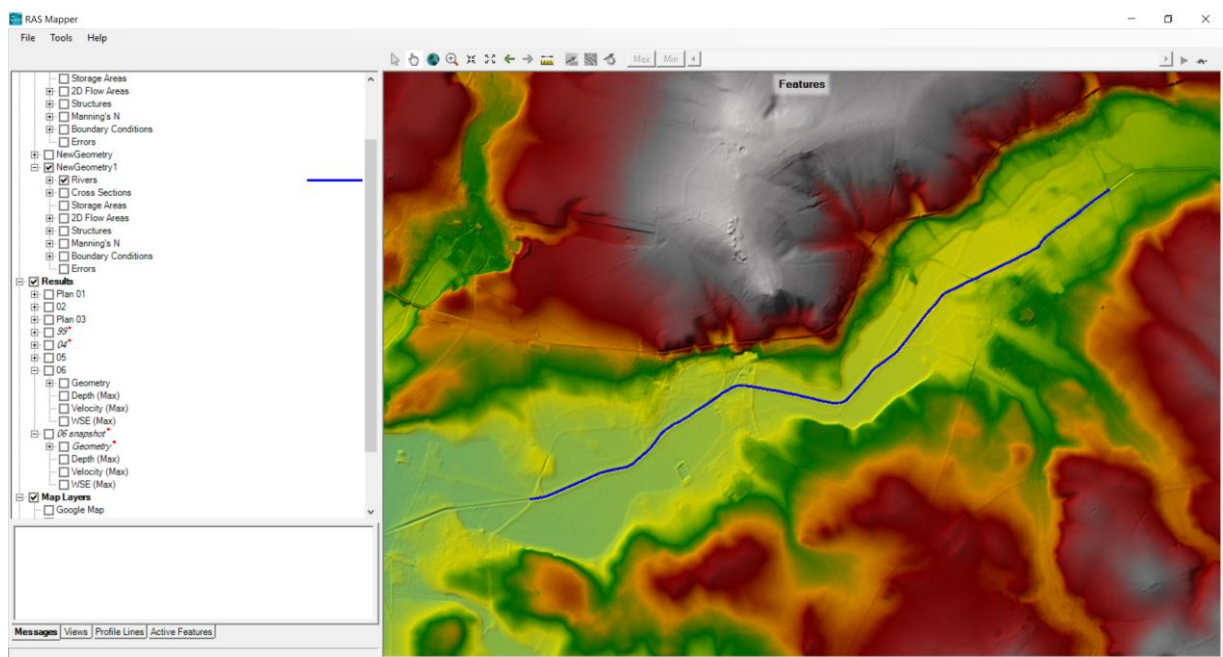
7.4 Postup práce v programech

Postup práce pozostával z nasledujúcich krokov:

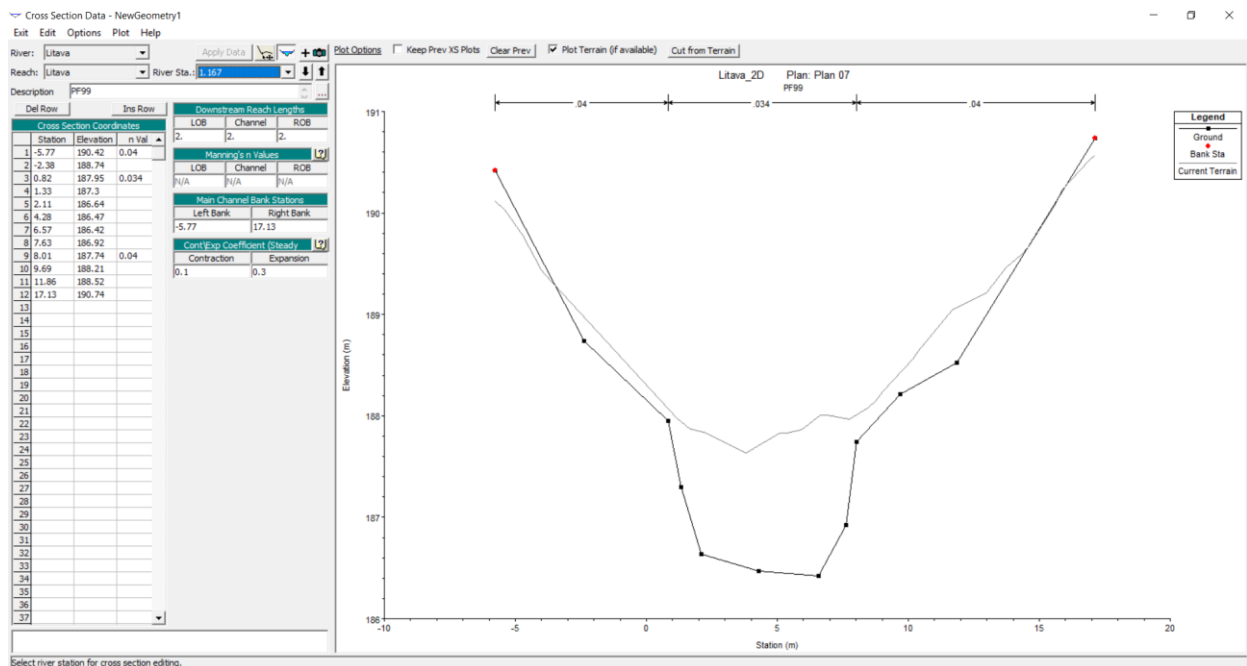
- triedenie a vyberanie úseku a dát na rieke Litava pre riešenie DP na základe rozlivov z Dibavodu [E] a z internetovej stránky www.povis.cz,
- načítanie pomocných podkladov (ZM25, rozlivy) pomocou programu Q-Gis, následne vytvorenie máp, ktoré sa vložili do programu HEC-RAS (obrázok 7.1),
- vytvorenie digitálneho modelu terénu piatej generácie (DMRFF5G) a vloženie do programu HEC-RAS (obrázok 7.2),
- v programe HEC-RAS sa vykreslila na mapových podkladoch osa toku Litavy, a priečne profily na základe situácie so zameranými PF [D],
- upravenie priečných profilov v programe Excel [A] a následné vloženie upravených PF do HEC-RASu, ďalej nastavenie drsnosti a brehových línií (obrázok 7.3),
- vloženie do výpočtového programu 7 mostných objektov [A], a nastavenie všetkých potrebných parametrov, a následná interpolácia medzi zadanými PF (obrázok 7.4),
- nastavenie okrajových podmienok v programe HEC-RAS pomocou 1D modelovania a následné spustenie výpočtu,
- nasleduje kontrola správnosti výpočtu podľa výšky hladiny vody na začiatku a na konci úseku so zadaným pozdĺžnym profilom [B],
- doladenie nezrovnalostí v 1D modelovaní a následne vytváranie laterálnych štruktúr pre 2D modelovanie,
- ďalej vytvorenie 2D oblasti a nastavenie všetkých potrebných parametrov (obrázok 7.5),
- spustenie výpočtu a optimalizovanie 2D oblasti, spresnenie výsledkov atď.,
- spracovanie výsledkov 1D-2D modelovania, overenie kapacity súčasného stavu toku daného úseku, návrh úpravy koryta toku, návrh PPO,
- overenie návrhu v programe HEC-RAS a následné spracovanie výsledkov a príloh.



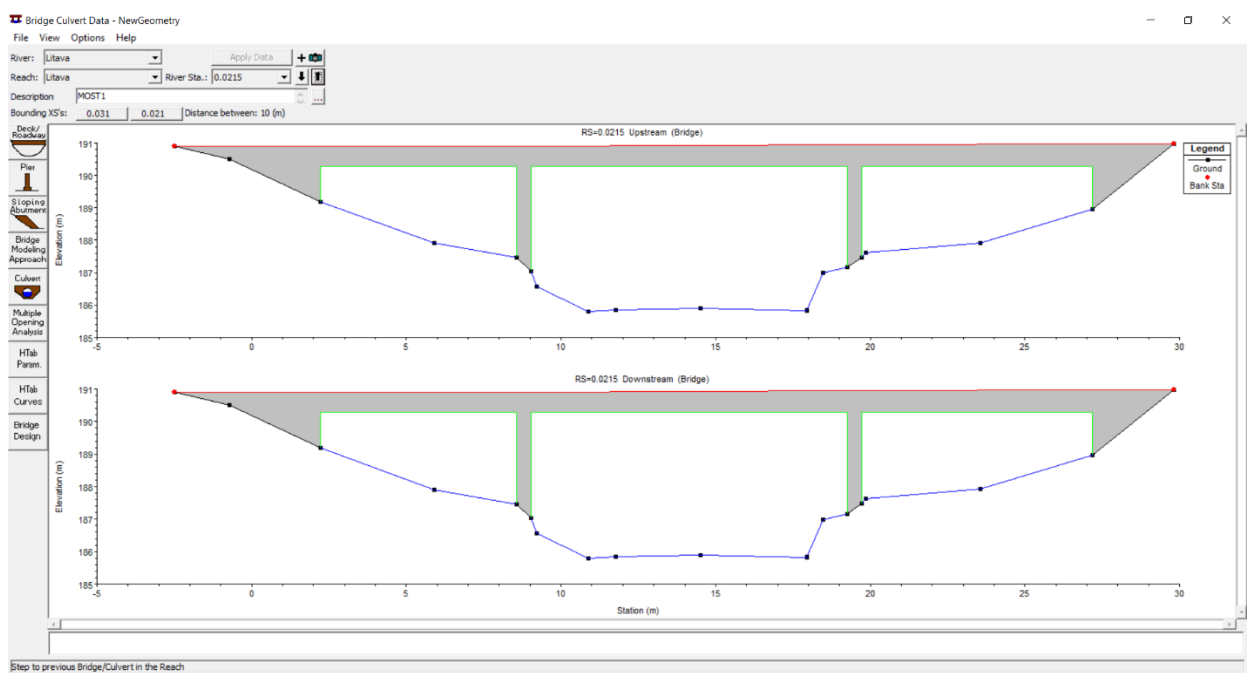
Obr. 7.1: Ukážka práce v programe Q-Gis



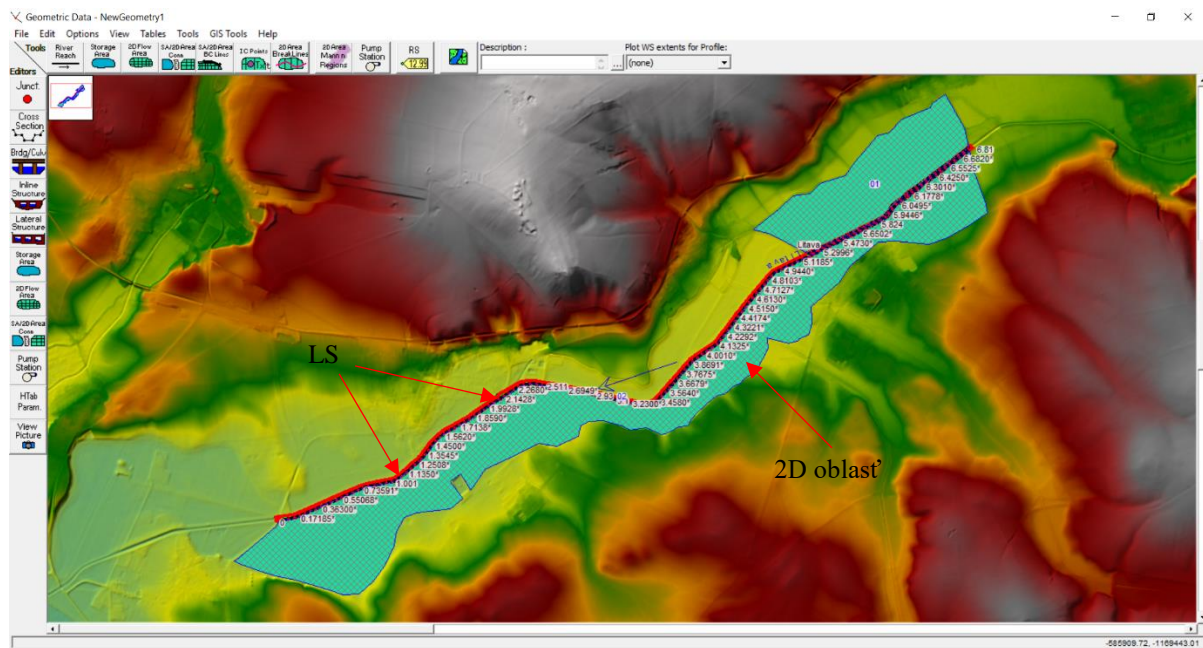
Obr. 7.2: Digitálny model terénu 5. generácie vložený do programu HEC-RAS



Obr. 7.3: Vkladanie PF do programu HEC-RAS a nastavenie drsnosti



Obr. 7.4: Vytváranie mostných objektov v programe HEC-RAS



Obr. 7.5: Vytvorenie laterálnych štruktúr a 2D oblasti v programe HEC-RAS

8 OVERENIE KAPACITY – 1D

8.1 Úvod – nastavenie programu

Vo výpočtovom programe HEC-RAS bol spracovaný výpočet pre 61 priečných profilov na vybranom úseku rieky Litavy v okolí Újezdu u Brna v riečnom kilometri 11,505 – 18,315, čo spolu tvorí 6,81 km dlhý úsek. Najprv prebehol výpočet pre 1D modelovanie, aby sa skontrolovala správnosť výpočtu a následne bol urobený 2D výpočet.

Pri určovaní drsnosti sa vychádzalo z obhliadky daného úseku, a tak isto aj z fotiek z internetu zo starších rokov, keďže poskytnuté dáta sú z roku 2004. Drsnosti podľa Manninga sa následne určili pomocou dostupných katalógov, a zároveň odhadu na základe doterajších znalostí. Pre dno koryta bola určená drsnosť 0,035 a pre svahy, ktoré sú zarastené, bola určená drsnosť 0,045.

Potrebné okrajové podmienky boli zvolené na základe znalostí N-ročných prietokov [C] a sklonu koryta toku. Celkom bolo zadáných 7 hodnôt prietokov, a to Q_{100} , Q_{50} , Q_{20} , Q_{10} , Q_5 , Q_2 a Q_1 , ktorých hodnoty sú vidieť v tabuľke 6.1. Použila sa podmienka pre zadanie sklonu dna Normal Depth, kde sa zadala hodnota 0,0007. Hodnota sklonu dna vychádza z pozdĺžneho profilu, ktorý bol poskytnutý povodím Moravy [B]. Zadanie okrajových a počiatočných podmienok je vidieť na obrázku 8.1 a 8.2. V záujmovom úseku rieky Litavy je riečne prúdenie, to znamená že metóda po úsekoch je riešená od dolného profilu k hornému profilu smerom proti prúdu.

Steady Flow Data - 1D

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 7 Reach Boundary Conditions ... Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: Litava Add Multiple...

Reach: Litava River Sta.: 6.81 Add A Flow Change Location

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates						
River	Reach	RS	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
1 Litava	Litava	6.81	15.5	21	28.5	34	40.5	49	55.5

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

Obr. 8.1: Okrajové podmienky vložené do programu HEC-RAS

Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles
 ☐ Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Litava	Litava	all		Normal Depth S = 0.0007

Steady Flow Reach-Storage Area Optimization ...

Enter to accept data changes.

Obr. 8.2: Podmienka Normal Depth zadaná sklonom v programe HEC-RAS

8.2 Posúdenie kapacity pôvodného koryta

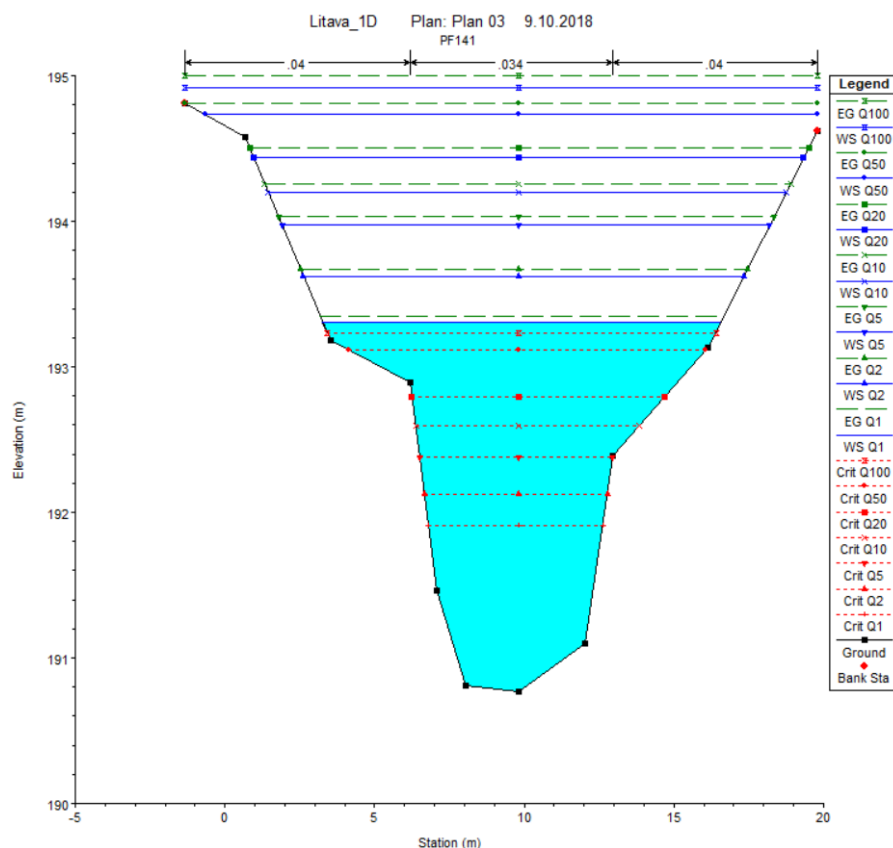
Na základe výsledkov z 1D modelovania v programe HEC-RAS vybraného úseku rieky Litava bola zistená kapacita jednotlivých úsekov. Pre lepšiu orientáciu vo výsledkoch bola vytvorená prehľadná tabuľka 8.1, kde sú podrobné informácie o jednotlivých profiloch a prietokoch.

Tab. 8.1: Posúdenie kapacity z 1D modelovania na 61 profiloch záujmového úseku.

Označenie	Staničenie (km)	Q_N		Označenie	Staničenie (km)	Q_N	
		LB	PB			LB	PB
PF91	11.505	Q50	Q100	PF122	14.853	Q20	Q100
PF92	11.531	Q100	Q100	PF123	15.005	Q100	Q100
PF93	11.659	Q100	Q100	PF124	15.153	Q50	Q100
PF94	11.778	Q100	Q100	PF125	15.394	Q50	Q100
PF95	11.976	Q100	Q100	PF126	15.606	Q50	Q100
PF96	12.227	Q100	Q100	PF127	15.667	Q50	Q100
PF97	12.378	Q100	Q100	PF128	15.748	Q100	Q100
PF98	12.506	Q100	Q100	PF129	15.841	Q100	Q100
PF99	12.672	Q50	Q100	PF130	15.980	Q100	Q100
PF100	12.750	Q100	Q100	PF131	16.146	Q100	Q100
PF101	12.782	Q100	Q100	PF132	16.383	Q100	Q100
PF102	12.972	Q100	Q100	PF133	16.537	Q100	Q100
PF103	12.915	Q100	Q100	PF134	16.677	Q100	Q100
PF104	13.037	Q100	Q100	PF135	16.713	Q100	Q100
PF105	13.105	Q100	Q100	PF136	16.743	Q100	Q100
PF106	13.189	Q100	Q100	PF137	16.902	Q50	Q100
PF107	13.310	Q100	Q100	PF138	17.038	Q20	Q20
PF108	13.392	Q50	Q100	PF139	17.183	Q20	Q100

PF109	13.484	Q50	Q100	PF140	17.329	Q50	Q20
PF110	13.575	Q50	Q100	PF141	17.408	Q50	Q20
PF111	13.617	Q100	Q100	PF142	17.513	Q100	Q50
PF112	13.632	Q100	Q100	PF143	17.623	Q50	Q100
PF113	13.711	Q100	Q100	PF144	17.639	Q100	Q100
PF114	13.883	Q100	Q100	PF145	17.653	Q50	Q100
PF115	13.994	Q100	Q100	PF146	17.808	Q50	Q20
PF116	14.011	Q100	Q100	PF147	17.974	Q100	Q100
PF117	14.057	Q100	Q100	PF148	18.145	Q20	Q100
PF118	14.188	Q100	Q100	PF149	18.267	Q50	Q100
PF119	14.291	Q50	Q100	PF150	18.295	Q100	Q100
PF120	14.435	Q50	Q100	PF151	18.315	Q100	Q100
PF121	14.605	Q100	Q100				

V tabuľke 8.1 sú značené maximálne prietoky, ktoré je daný profil schopný bezpečne previesť. Je vidieť, že v záujmovej lokalite sa nachádzajú vo veľkej časti kapacitné korytá, to znamená, že prevedú maximálny prietok Q_{100} . Žiadny úsek toku nie je úplne nekapacitný¹. Prvá polovica záujmového územia od začiatku úseku je v podstate bezproblémová. Najväčšie problémy nastávajú v profiloch PF122, PF138, PF139, PF140, PF141, PF146 a PF148, kde koryto prevedie maximálny prietok Q_{20} . To znamená, že návrh protipovodňovej ochrany je vhodný.



Obr. 8.3: Ukážka menej kapacitného profilu PF146

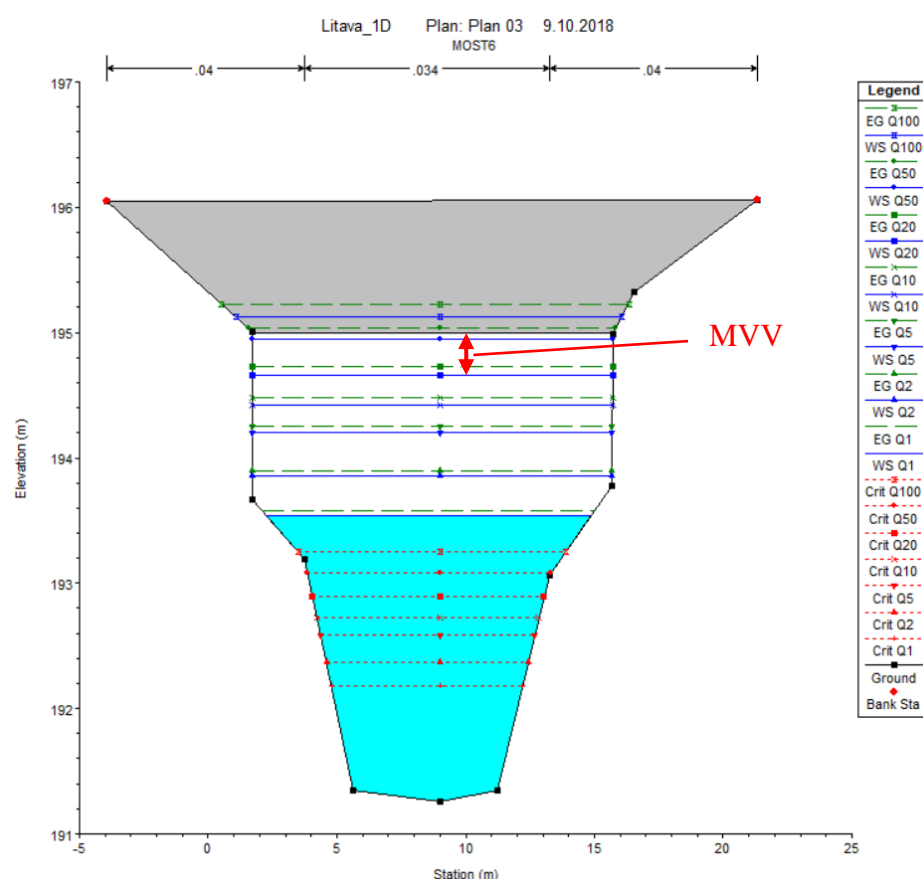
¹ nekapacitný = neprevedie ani prietok Q_1

Tab. 8.2: Posúdenie kapacity z 1D modelovania mostných objektov záujmového úseku

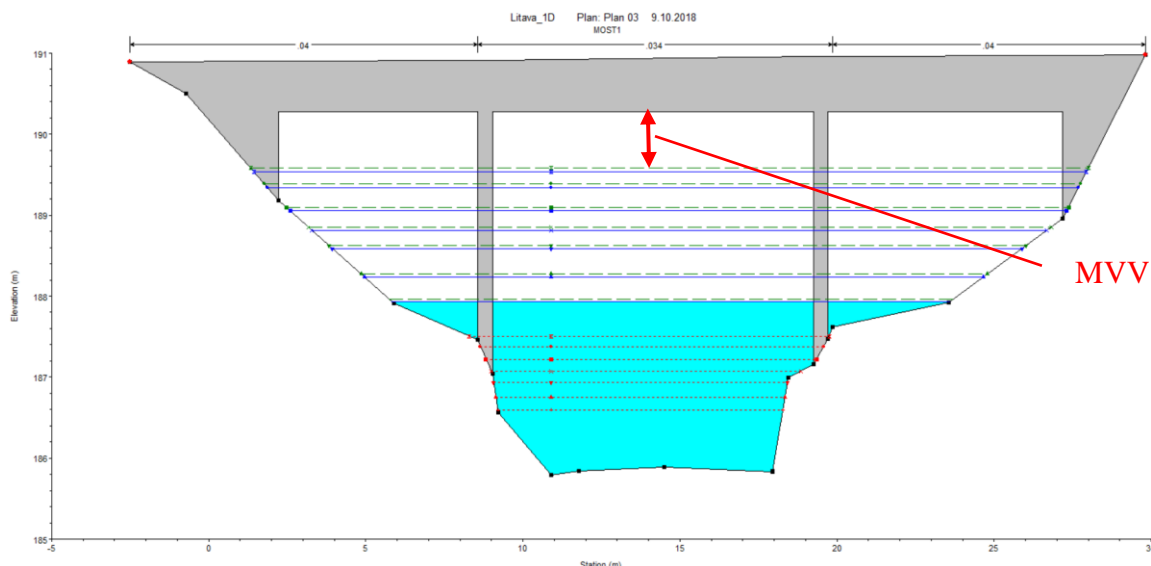
Označenie	Staničenie (km)	Q_N	
		LB	PB
1	11.531	Q100	Q100
2	12.782	Q50	Q50
3	13.617	Q100	Q100
4	14.011	Q20	Q20
5	16.713	Q100	Q100
6	17.639	Q20	Q20
7	18.315	Q20	Q20

V tabuľke 8.2 je prehľad mostných objektov a ich kapacity. Pri posudzovaní kapacity mostných objektov bola braná v úvahu minimálna voľná výška (MVV) 0,5 m, ktorá sa nachádza medzi voľnou hladinou vody pod mostom a spodnou hranou konštrukcie mostu.

V záujmovom úseku sa nachádzajú najmä na začiatku úseku mosty, ktoré sú viac kapacitné ($Q_{100} - Q_{50}$). Ukážka mostu, ktorý bez problémov prevedie prietok Q_{100} je vidieť na obrázku 8.5. Pomaly ku koncu úseku sa kapacita mostov znižuje na hodnotu Q_{20} vid' obr. 8.4.



Obr. 8.4: Ukážka mostného objektu č.6 s $Q_{MAX}=Q_{20}$



Obr. 8.5: Ukážka mostného objektu č.1 s $Q_{MAX}=Q_{100}$

Z výsledkov je tak isto vidieť, že v zástavbe sa nachádzajú mosty, ktoré prevedú prietok Q_{100} a naopak mimo zástavby, kde je rozliv povolený sa nachádzajú mosty, ktoré prevedú maximálne prietok Q_{20} . Niektoré mosty sa nachádzajú v zlom stave (pukliny) a preto pri protipovodňových úpravách by bolo vhodné tieto mosty zrekonštruovať.

Pre bližšie určenie záplavových území a pre lepšiu návrh protipovodňovej ochrany sa použije aj 2D modelovanie v programe HEC-RAS, ktoré je popísané v nasledujúcej kapitole.

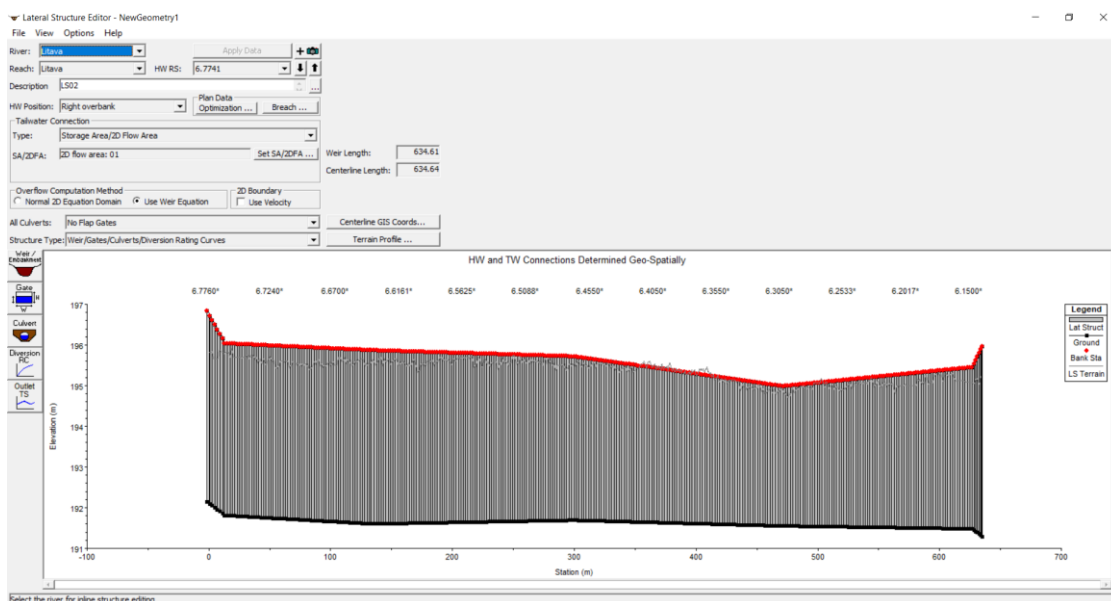
9 VÝPOČET ROZLIVOV – 2D

9.1 Úvod – nastavenie programu

Správne nastavenie programu začína nastavením koordinačného systému v okne RAS Mapper, kde je potrebné vybrať taký súbor, ktorý bol použitý pri vytváraní rastrového modelu terénu. Ďalej v tom istom okne RAS Mapper sa načítajú všetky potrebné digitálne podklady a vrstvy vo formáte SHP. V tomto prípade išlo o načítanie DMR5G vo formáte TIF, ďalej nahratie podkladovej mapy ZM25 z osou toku a priečnymi profilmi, ktorá sa vytvorila v programe QGis.

Nasledujúcim krokom bolo vykreslenie osi toku na základe digitálneho mapového podkladu, a tak isto aj priečne profily. DMR5G vytvoril model zameraného terénu. Nasledovalo vloženie zameraných priečných profilov do predtým vytvorených profilov z modelu DMR5G (obrázok 7.3).

Po dokončení priečných profilov sa mohlo prejsť k vytvoreniu „Lateral Structure“ (ďalej iba LS) a to na miestach, kde sa očakával rozliv, pomocou nástroja „breaklines“. Novej vytvorenej LS bolo priradené staničenie blízke hornému profilu, kde sa LS nachádza. Je treba podotknúť, že DMR5G nie je tak presný ako je zameranie geodetom na mieste, pretože povrch je snímkaný laserom z lietadla a v rámci toho je nasnímkaný aj vegetačný pokriv a tak isto aj hladina vody. Po pridaní LS nasledovala jej úprava. Bola zvolená šírka prepadovej hrany 1 m a nastavená výšková hranica LS. Na obrázku 9.1 je vidieť už upravená LS.



Obr. 9.1: Ukážka upravenej Laterálnej štruktúry

Nasleduje tvorba 2D oblasti. Prvá veľkosť oblasti bola odhadnutá na základe rozlivov zo stránky www.povis.cz. V editore 2D oblastí bolo treba nastaviť mesh pre každú oblasť, to znamená veľkosť výpočtovej bunky. Na začiatok boli bunky volené 10x10 metrov na zrýchlenie výpočtu a na spresnenie veľkosti 2D oblasti. Oblasti sa napojili na konkrétnu LS, ktorej sa dotýkali, tak vzniklo napojenie 1D a 2D modelu. A mohol sa spustiť výpočet.

Po konečnej úprave oblastí sa nastavil výpočtový mesh na veľkosť 5x5 m. Navrhnutá 2D oblasť je vidieť na obrázku 9.2.



Obr. 9.2: Ukážka 2D oblasti v záujmovom území

Pred spustením výpočtu sa museli nastaviť okrajové podmienky. Výpočet prebieha ako 1D + 2D v neustálenom režime prúdenia. Okrajová podmienka pre 1D model bola v hornom profile podmienka „Flow Hydrograph“ a v dolnom profile „Normal Depth“ (Obr. 9.3.). Ďalej v okne Initial Conditions bol nastavený začiatkový prietok pre horný profil.

Unsteady Flow Data - UFlow01

File Options Help

Boundary Conditions Initial Conditions Apply Data

Boundary Condition Types

Stage Hydrograph	Flow Hydrograph	Stage/Flow Hydr.	Rating Curve
Normal Depth	Lateral Inflow Hydr.	Uniform Lateral Inflow	Groundwater Interflow
T.S. Gate Openings	Elev Controlled Gates	Navigation Dams	IB Stage/Flow
Rules	Precipitation		

Add Boundary Condition Location

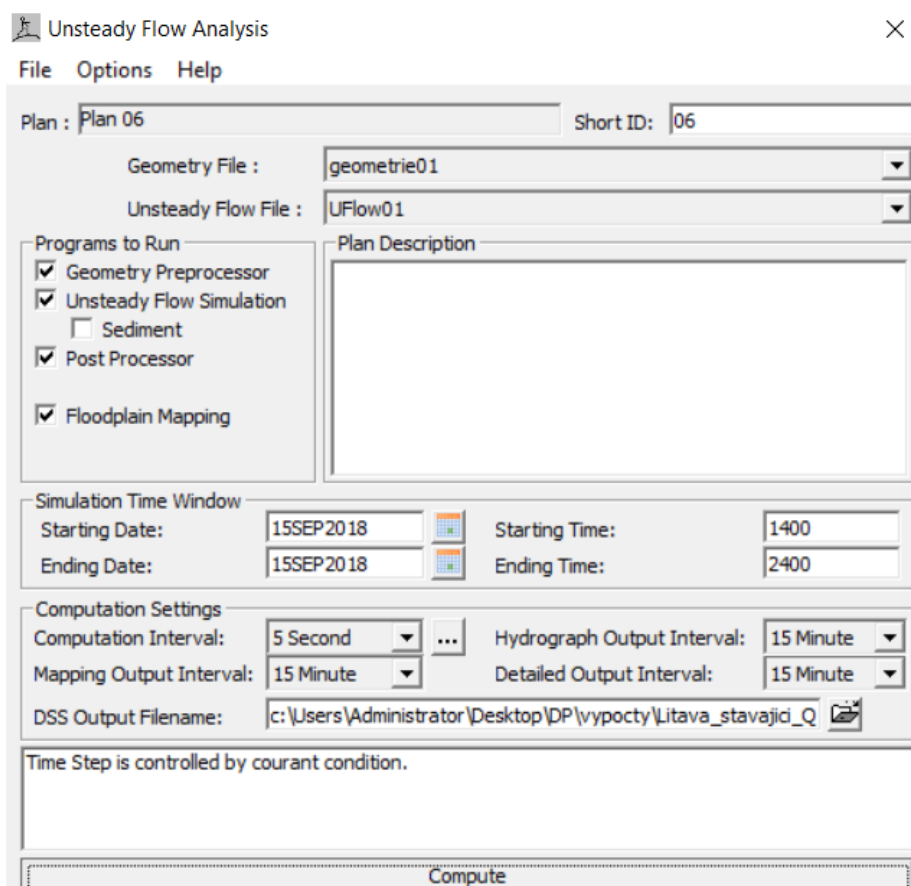
Add RS ... Add SA/2D Flow Area ... Add SA Connection ... Add Pump Station ...

Select Location in table then select Boundary Condition Type

	River	Reach	RS	Boundary Condition
1	Litava	Litava	6.81	Flow Hydrograph
2	Litava	Litava	0	Normal Depth

Obr. 9.3: Nastavenie okrajových podmienok pre neustálené prúdenie

Na záver sa nastavil samotný výpočet, ako je vidieť na obrázku 9.4. Konečný čas bol nastavený na 24 hodín a mapovacie intervaly boli zvolené po 15 minútach.



Obr. 9.4: Nastavenie výpočtu neustáleného prúdenia

Po prebehnutí výpočtov sa dáta skontrolovali a exportovali vo formáte SHP alebo TIF pomocou RAS Mapperu. Tieto vrstvy je následne možné podložiť do programu QGIS a tam s nimi ďalej pracovať.

9.2 Výsledky 2D modelovania

V prípade daného záujmového územia rieky Litavy bol výpočet použitý iba pre 2 povodňové stavy a to pre Q_{100} a Q_{20} . Rozhodnutie bolo urobené na základe malých rozlivov v intravilánoch miest.

Pre overenie správnosti výpočtov sa porovnávajú výšky hladín, ktoré sa získali z numerického modelu 1D-2D s výsledkami, ktoré boli poskytnuté formou pozdĺžneho profilu a priebehu hladín [B]. Toto porovnanie je vidieť v tabuľke 9.1. Je vidieť, že pri menšom prietoku Q_{20} sú rozdiely pomerne malé na začiatku úseku je to len 1 cm a na konci úseku sa odchýlka zväčšila na 9 cm. Avšak pri väčšom prietoku Q_{100} vznikajú aj väčšie odchýlky. Na začiatku úseku je to 14 cm smerom hore a na konci úseku 13 cm smerom dole. Tieto odchýlky mohli vzniknúť rozličným zadaním drsností, sklonu, alebo okrajových podmienok.

Tab. 9.1: Porovnanie výšky hladín 2D výpočtu

Q_N	HEC-RAS		PODKLADY		ODCHYLKA (výpočty – podklady)	
	Z.Ú.	K.Ú.	Z.Ú.	K.Ú.	Z.Ú.	K.Ú.
[-]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m]	[m]
Q_{100}	189.49	195.64	189.35	195.77	0.14	-0.13
Q_{20}	189.01	195.32	189.00	195.23	0.01	0.09

Pri prezeraní výsledkov z prietoku Q_{20} je vidieť že rozliv je značný ale vo veľkej miere zasahuje iba extravilán. Nutný návrh protipovodňovej ochrany je iba na 1 mieste, ktoré sa nachádza v Újezdu u Brna (2,250 – 2.660 r.km.) (obr. 9.5).

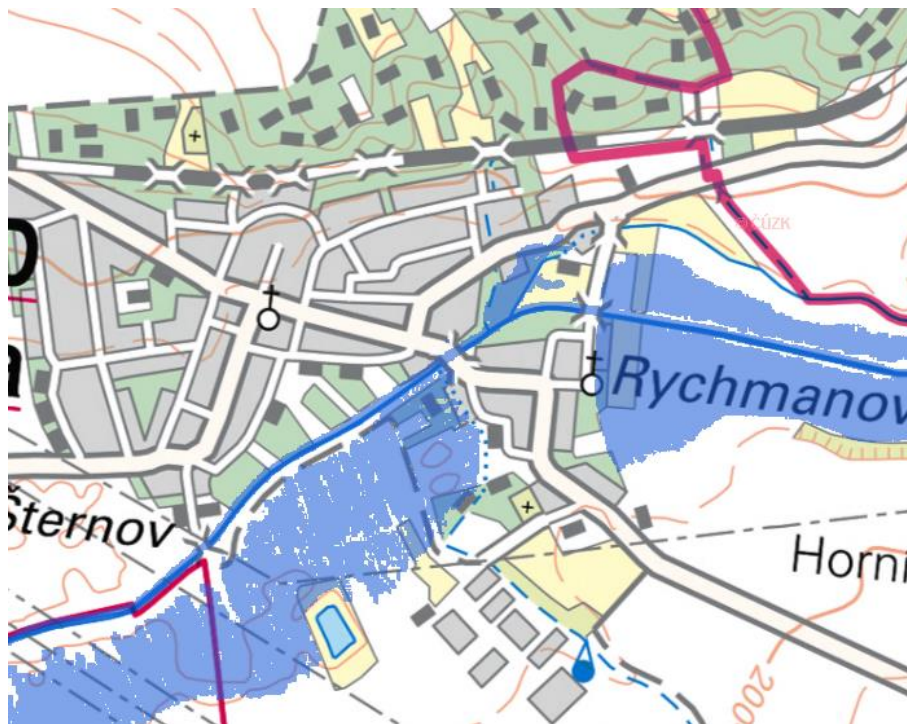
Celý rozliv Q_{20} sa nachádza v prílohe č.6.



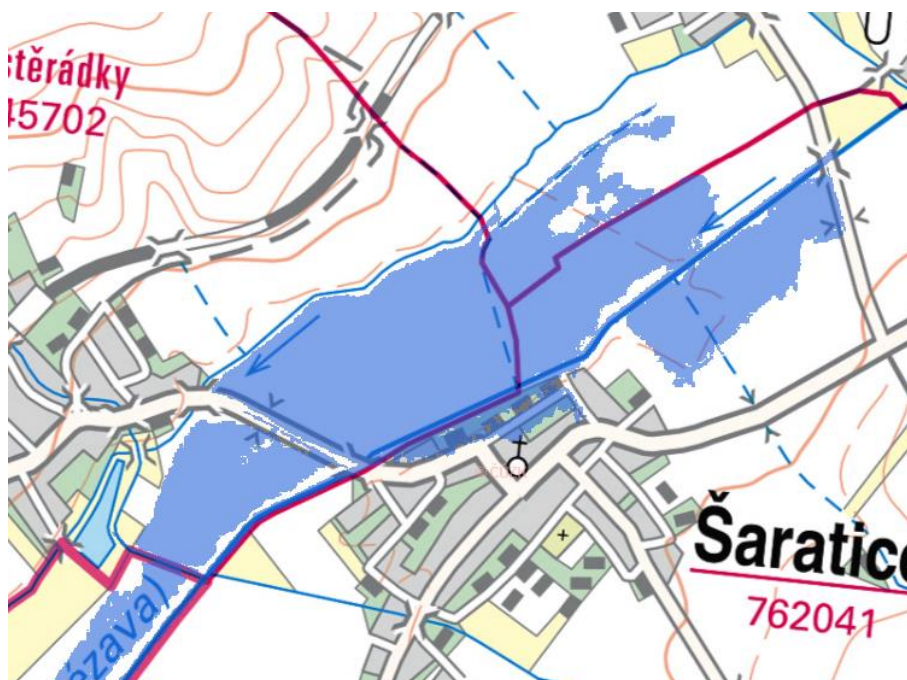
Obr. 9.5: Rozliv Q_{20} v Újezdu u Brna, kde je nutné navrhnuť PPO

Z výsledkov pre prietok Q_{100} sa zistilo že rozlivy sú pomerne veľké, ale z veľkej časti nezaplavujú intravilán mesta ale práve voľné priestranstvá ako sú polia a lúky. V záujmovom území sa nachádzajú 2 miesta ktoré je nutné chrániť pred povodňami, konkrétne v Újezdu u Brna (1,700 – 2.660 r.k.m.) a v Šaraticiach (5,290 – 5,845 r.k.m.) (obr. 9.6 a 9.7).

Celý rozliv Q_{100} sa nachádza v prílohe č.5.



Obr. 9.6: Rozliv Q_{100} v Újezdu u Brna, kde je nutné navrhnuť PPO



Obr. 9.7: Rozliv Q_{100} v Šaraticiach, kde je nutné navrhnuť PPO

10 NÁVRH ÚPRAVY A PPO

10.1 Úvod

Protipovodňová ochrana alebo ochrana pred povodňami sú dôležité opatrenia, pomocou ktorých sa predchádza a zamedzuje ohrozeniu životov, majetkov občanov a životného prostredia pred nepriaznivými účinkami vôd. Česká republika má veľmi hustú hydrografickú sieť o dĺžke cca 85 tis. km. Nachádza sa v miernom klimatickom pásme, to znamená, že sa pravidelne striedajú teploty a zrážky. [13]

Zásady stratégie ochrany pred povodňami v Českej republike:

- preventívne opatrenie pre ochranu pred povodňami,
- na zabezpečenie realizácie preventívnych opatrení sa podieľajú vlastníci a správcovia nehnuteľností (organizácie, obce, občania),
- efektívne preventívne opatrenia je nutné uplatňovať systematicky v ucelených povodiach s ohľadom na následky previazaných povodí,
- pre efektívnu ochranu je potrebné nájsť najvhodnejšiu kombináciu opatrení, prípadne takú ochranu, ktorá bude najviac chrániť a najmenej ohrozovať životné prostredie,
- pre návrhy PPO je potrebné využívať kvalitné informácie (geomorfológia, vegetácia, zloženie pôdy, hydrológia...),
- tiež je potrebné skvalitňovať a spresňovať informačný systém v záplavových územiach pred a pri príchode povodne,
- je nutné dbať aj na medzinárodný charakter povodní a to pri tokoch, ktoré presahujú hranice,
- PPO je veľmi finančne náročná, kvalitná ochrana je častokrát veľmi nákladná,
- stratégia ochrany pred povodňou je dokument, ktorý má dlhoročnú platnosť a je otvorený pre doplňujúce návrhy. [13]

Opatrenia k ochrane pred povodňami sa delia na:

- prípravné – spracovanie povodňových plánov, vykonávanie protipovodňových prehliadok, organizačná a technická príprava, zaistovanie povodňových rezerv, príprava informačného systému, školenie pracovníkov povodňovej služby, zaistenie TBD na vodných dielach,
- pri povodni – tu začína činnosť predpovednej povodňovej služby a hlásneho systému, ovplyvňovanie odtokových pomerov, zabezpečovacie povodňové práce, záchranné povodňové práce, zaistenie náhradnej dopravy, zaistenie zásobovania pitnej vody, potravín, energií atď.,
- po povodni – obnovenie narušených funkcií v zasiahnutých oblastiach, zaistovanie oceňovania škôd, evidenčné a dokumentačné práce, záverečné vyhodnotenie povodne. [13]

Stupne povodňovej aktivity:

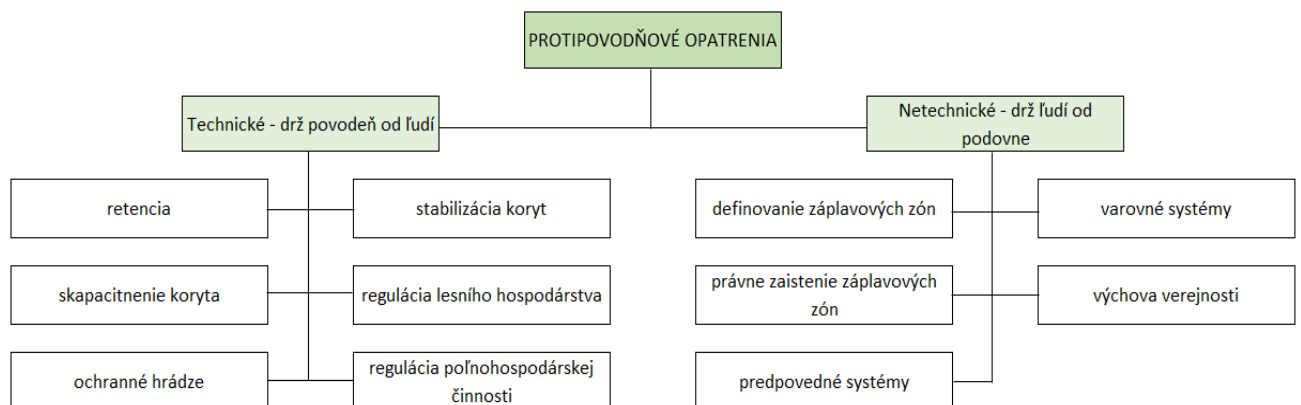
1. stupeň – stav bdlosti – nastáva pri nebezpečí prirodzenej povodne a zaniká, keď tieto príčiny zmiznú. V tomto prípade sa vyžaduje venovať zvýšenú pozornosť vodným tokom (hliadková a hlásna služba).

2. stupeň – stav pohotovosti – vyhlasuje sa, keď prirodzená povodeň prerastá v povodeň. Tiež sa vyhlasuje pri prekročení medzných hodnôt sledovaných stavov. Aktivujú sa protipovodňové orgány, pripravujú sa prostriedky na zabezpečovacie práce podľa povodňového plánu.
3. stupeň – stav ohrozenia – vyhlasuje sa pri nebezpečí vzniku škôd väčšieho rozsahu, pri ohrození životov a majetku v záplavovom území. Tiež sa vyhlasuje pri dosiahnutí kritických hodnôt sledovaných stavov. Zahajujú sa núdzové opatrenia a vykonávajú sa zabezpečovacie a záchranné práce, prípadne evakuácia. [13]

Pri návrhu PPO je v prvom rade snaha nájsť také opatrenia, nezaťažujúce životné prostredie, ktoré korešpondujú s vegetáciou a nenarúšajú prírodný biokoridor. Je to takzvaná prírode blízka protipovodňová ochrana (PBPPO).

Hlavným princípom PBPPO je ochrana a podpora prirodzeného zadržovania vody v krajine, spomaľovanie odtokov, a tým znižovanie rýchlostí a kulminačných úrovní povodní. Podporuje rozlivy do nezastavaných území. Pokiaľ sa jedná o zvyšovanie kapacity koryta, tak nech je táto úprava robená tak, aby nenarúšala charakter toku a aby bola prírode blízka. [14]

Protipovodňové opatrenia sa často delia podľa konštrukčnej podstaty na technické opatrenia a netechnické opatrenia. Rozdelenie je vidieť na obrázku 10.1.



Obr. 10.1: Delenie PPO podľa konštrukčnej podstaty [13]

Pri návrhu protipovodňového opatrenia je v prvom rade snaha upraviť samotné koryto toku. Pokiaľ táto úprava nie je dostatočná, potom sa prejde na výstavbu protipovodňových systémov (ochranné protipovodňové hrádze, ochranné protipovodňové steny atď.).

Úpravou toku sa rozumie zásah do priečneho profilu koryta, jeho trasy, prípadne aj sklonu toku. Zahrňuje tiež realizáciu nových alebo zásahy do existujúcich objektov (stupne, hate, mosty, objekty PPO, úpravy vegetácie atď.) Avšak pri väčšine návrhov PPO ide o kombináciu úpravy toku a návrhu protipovodňových systémov.

Ďalšia PPO môže byť aj vytvorenie umelých retenčných priestorov, to znamená vytvorenie ovládateľných alebo neovládateľných vodných nádrží. Tieto nádrže sú viacúčelové, slúžia ako zásobné nádrže, majú tak isto energetické využitie, rekreačné využitie

a v neposlednom rade majú ochrannú funkciu. Zvláštnym typom retenčných priestorov je suchá nádrž – polder. Jedná sa o nádrže primárne určené k ochrane pred účinkami povodní, ktoré sú v období bez povodní prázdne a naplnia sa až pri príchode povodne. [15]

Často využívané typy PPO v ČR:

- **ochranná hrádza**

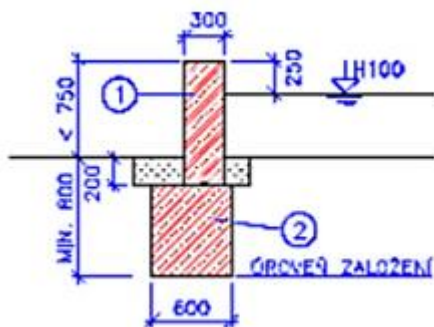
- zemné teleso lichobežníkového prierezu, ktoré môže byť homogénne alebo nehomogénne,
- rôzne rozmery podľa daného problému [15]



Obr. 10.2: Ochranná hrádza v lokalite Bratislava – rieka Morava [15]

- **votknutá stena**

- ŽB votknutá stena s kotevnou výstužou pre nadzemnú časť,
- rozmery sú dané typom riešenej úlohy,
- 1 – nadzemná časť, 2 – základ.



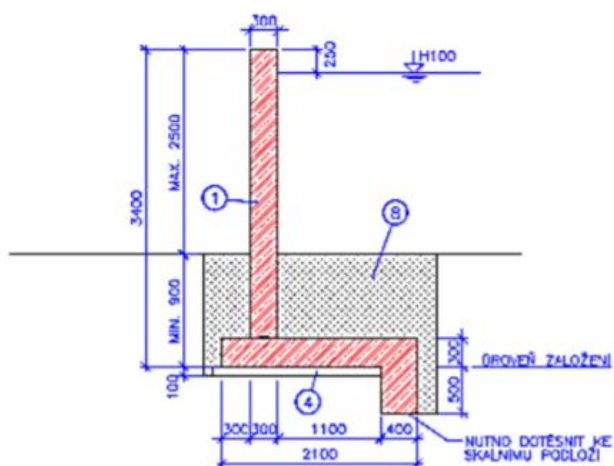
Obr. 10.3: Priečny rez - votknutá stena [16]



Obr. 10.4: Výstavba ŽB votknutej povodňovej steny vo Veselí nad Lužnicí [15]

- **uhlová stena**

- ŽB uhlová stena s tesniacim ozubom, ktoré sa dotesňuje na úroveň nepriepustného podlažia,
- hrúbka nadzemnej steny je 0,3 m a výška je maximálne 2,5 m,
- 1 – uhlová stena, 4 – podkladaný betón, 8 – spätný násyp.



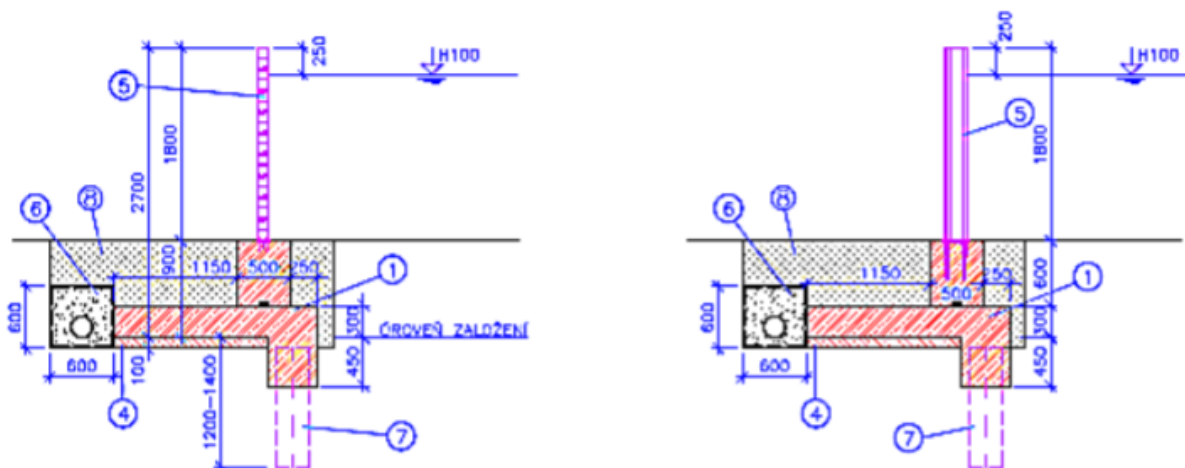
Obr. 10.5: Priečný rez - uhlová stena [16]



Obr. 10.8: Kombinácia povodňovej steny s mobilným hradením v Holešoviciach [15]

- **uhlová stena do úrovne terénu + mobilné hradenie**

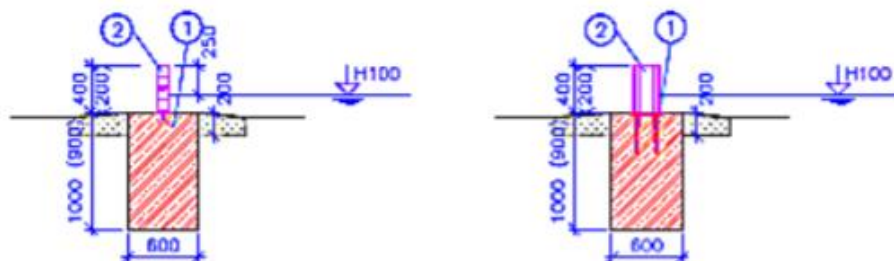
- ŽB uhlová stena s tesniacim ozubom, ktorá je napojená na 1,2 m – 1,4 m dlhú štetovú stenu,
- konštrukcia steny je ukončená v úrovni terénu, do ktorej sú zabetónované kovové prvky mobilného hradenia,
- 1 – uhlová stena, 4 – podkladový betón, 5 – mobilné hradenie, 6 – drenážne potrubie, 7 – štetová stena, 8 – spätný násyp.



Obr. 10.9: Pričný rez v mieste hradidiel/v mieste stĺpiku - uhlová stena do úrovne terénu + mobilné hradenie + štetová stena [16]

- **uhlová stena do úrovně terénu a mobilné hradenie**

- ŽB votknutá stena šírky 0,6 m,
- ukončenie steny je v mieste terénu,
- kotevné dosky stĺpikov a drážky mobilného hradenia sú zabetónované do steny,
- 1 – ŽB stena, 2 – mobilné hradenie.



Obr. 10.10: Priečny rez v mieste hradidiel/v mieste stĺpiku - uhlová stena do úrovně terénu + mobilné hradenie [16]



Obr. 10.11: Mobilne protipovodňové hradenie v Prahe [15]

10.2 Vlastný návrh PPO

Z výsledkov 1D-2D numerického modelu sa zistilo, že rozlivy v záujmovej lokalite sú značné, ale väčšinou voda zaplavuje extravilán, nezastavené plochy, lúky, alebo polia. Avšak nachádza sa tu pár miest, kde voda zasahuje do intravilánu miest a je nutné ich chrániť. Pri vlastnom návrhu PPO sa vychádza zo štandardov, ktorým je Plán hlavných povodí Českej Republiky [17].

Hlavným cieľom pri návrhu PPO je ochrana ľudských životov, ich majetku, ochrana životného prostredia atď. pred povodňovými prietokmi.

S prihliadnutím na miestne a sociálne podmienky protipovodňová ochrana bude pozostávať z malej úpravy dna koryta toku (odstránenie nánosov), ďalej, keďže brehy koryta toku sú zarastené, budú tieto brehy zbavené prekážajúcej vegetácie, prípadne nahradené inou vegetáciou, ktorá nebude ovplyvňovať prúdenie (návrh nie je súčasťou práce). Bola vytvorená mapa rozlivov pred návrhom PPO (príloha č. 4) a na základe toho sa vybrali lokality, kde je nutné navrhnuť ochranu. V intravilánoch PPO bude tvoriť železobetónová protipovodňová stena. Ak stena bude dosahovať výšky viac ako 1,0 m bude navrhnuté dodatočné mobilné hradenie. Celá ochrana je budovaná na návrhový prietok Q_{100} . Výška ochrany sa navrhovala na základe vytvorených máp hĺbok (príloha č.5).

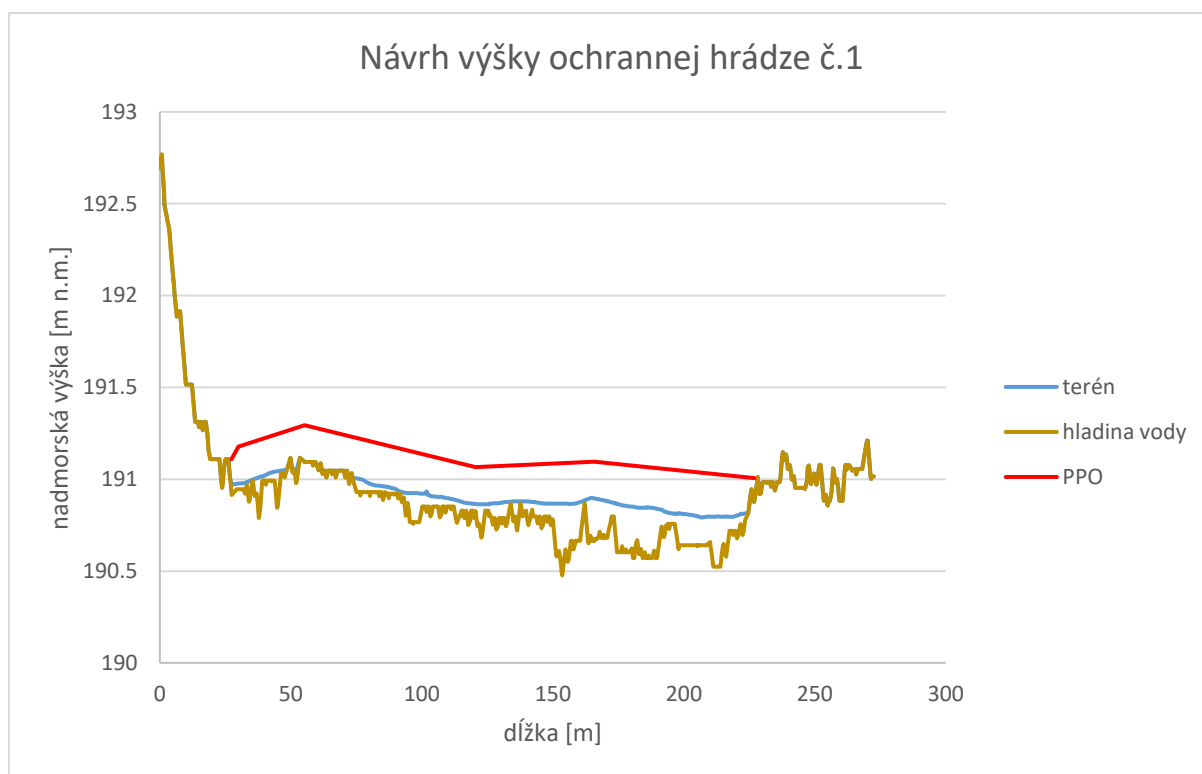
Výška protipovodňovej ochrany bude budovaná vždy do výšky 20 cm nad návrhovú hladinu. Tam, kde sa nachádzajú veľké hĺbky vody a ŽB stena by dosahovala veľkej výšky, čo by pôsobilo neesteticky budú na vrch ŽB stien umiestnené drážky pre mobilné hradenie, ktoré bude dosahovať výšky takej, aby malo presah 20 cm nad návrhový prietok Q_{100} . Rez navrhnutou ŽB stenou sa nachádza v prílohe č. 8.

Pri používaní mobilného hradenia je nutné dbať na úložné priestory a tak isto aj na ľahké a rýchle inštalovanie tohto hradenia pri príchodu povodne.

Keďže veľká časť rozlivov nezasahuje do intravilánu budú v týchto miestach povolené rozlivy vody pre odľahčenie toku pri povodňových prietokoch.

Vlastný návrh je rozdelený na 4 časti:

1. časť: - nachádza sa u Újezdu u Brna na ľavom brehu (obr. 10.13),
- výška je v rozmedzí $h=(0,25-0,55)\text{m}$.

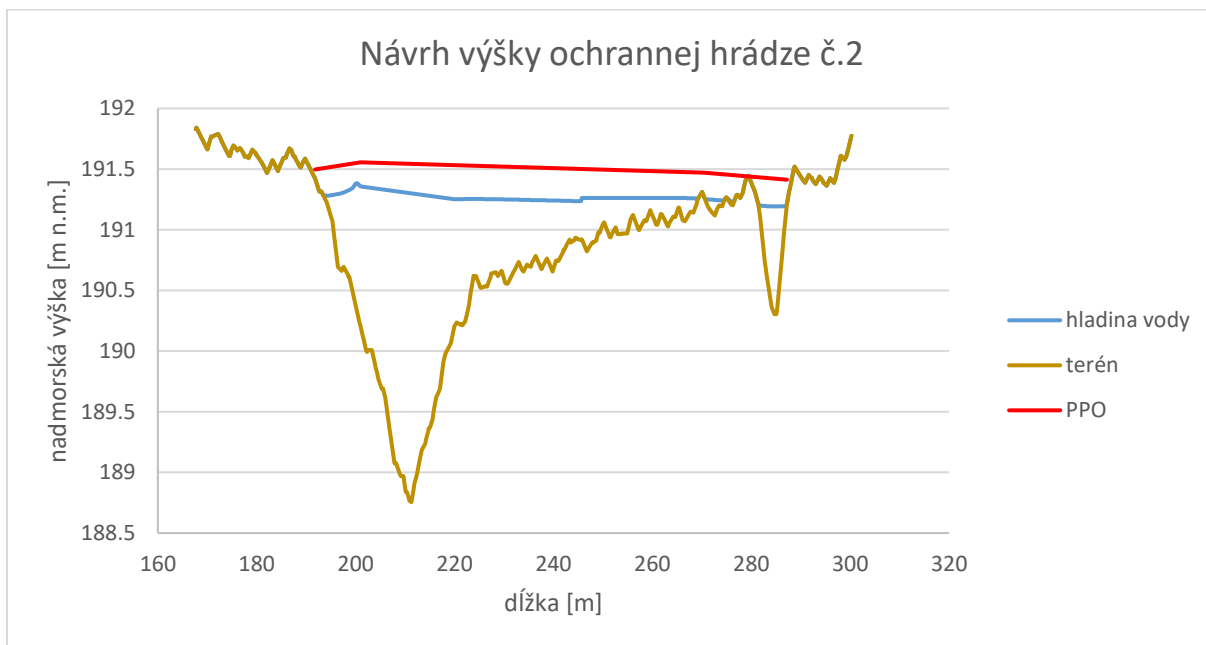


Obr. 10.12: Návrh výšky ochrannej hrádze č.1



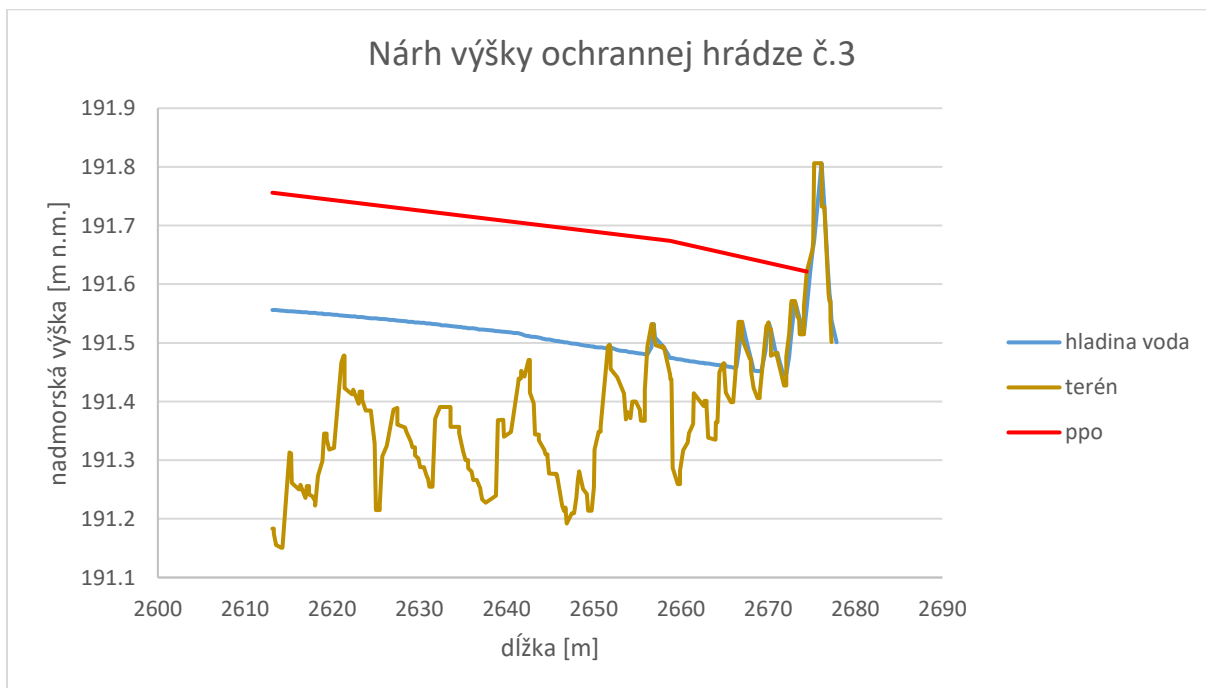
Obr. 10.13: Ukážka zakreslenie PPO (časť 1-3)

2. časť: - nachádza sa u Újezdu u Brna na pravom brehu (obr. 10.13),
 - výška je v rozmedzí $h=(0,25-1,0)\text{m} + 0,5\text{ m}$ mobilné hradenie,
 - na prítoku sa nachádza uzáver.



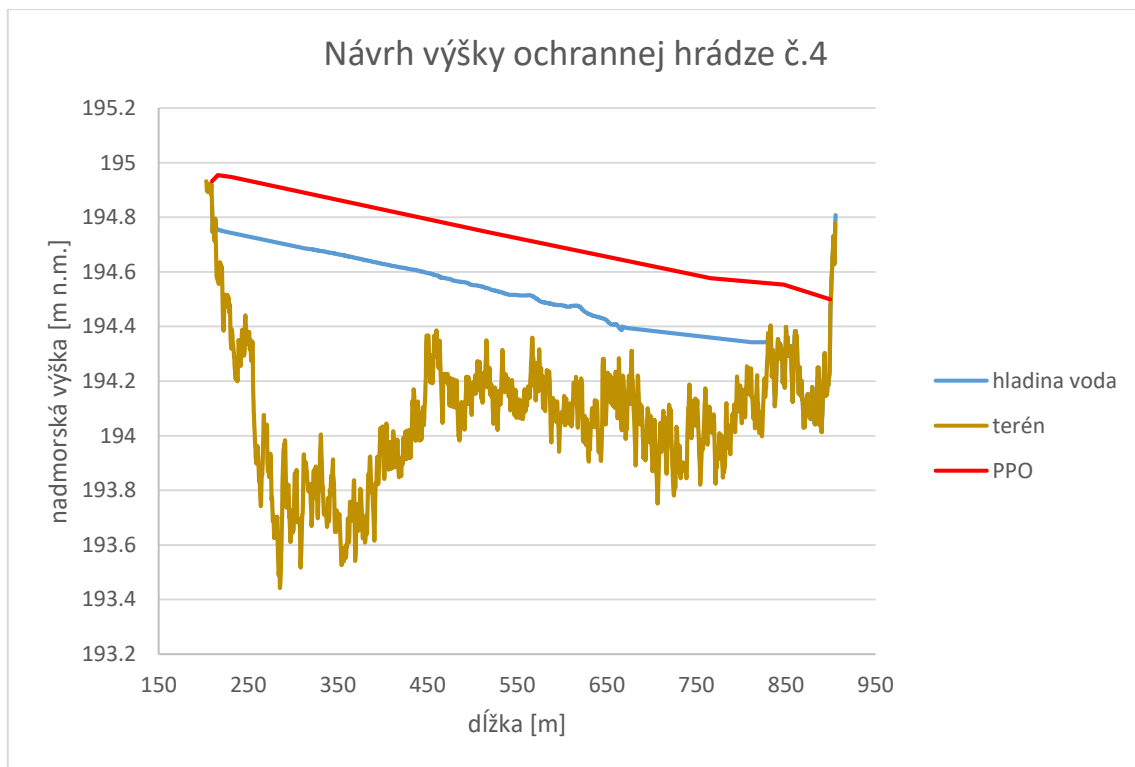
Obr. 10.14: Návrh výšky ochrannej hrádze č.2

3. časť: - nachádza sa u Újezdu u Brna na ľavom brehu (obr. 10.13),
 - výška je v rozmedzí $h=(0,25-1,0)\text{m} + 0,65\text{ m}$ mobilné hradenie.



Obr. 10.15: Návrh výšky ochrannej hrádze č.3

4. časť: - nachádza sa v Šaraticiach na ľavom brehu (obr. 10.17),
 - výška je v rozmedzí $h=(0,25-1,0)\text{m} + 0,5\text{ m}$ mobilné hradenie.



Obr. 10.16: Návrh výšky ochrannej hrádze č.4



Obr. 10.17: Ukážka zakreslenie PPO (časť 4)

Samozrejmosťou pri návrhu je zváženie ekonomického hľadiska a to z pohľadu vzniknutej škody bez PPO, evakuácie osôb a ceny samotnej výstavby PPO. Na základe toho posúdenia sa vyberie najsprávnejšia možnosť návrhu.

Detailná situácia s navrhnutou PPO sa nachádza v prílohe č.7.

Zhrnutie:

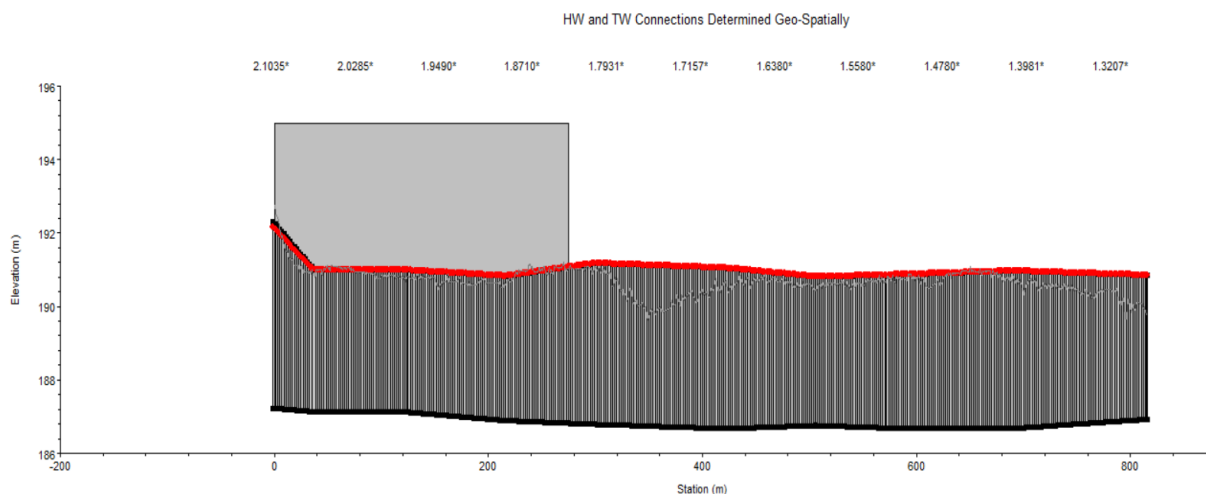
Boli navrhnuté 4 ŽB steny z toho 3 na ľavom brehu a 1 na pravom brehu konkrétne pri Újezdu u Brna (1,700 – 2.660 r.km.) a v Šaraticiach (5,290 – 5,845 r.km). Jednotlivé dĺžky a výšky hradenia sa nachádzajú v prílohe 7. Tam, kde dosahuje výška ŽB steny by dosahovala viac ako 1,0 m je navrhnuté mobilné hradenie. Mimo chránené miesta sa nachádzajú plochy v extraviláne kde je povolený rozliv na odľahčenie koryta pri príchode prietokovej vlny. Ďalej bola navrhnutá úprava dne koryta (odstránenie nánosov), a tak isto odstránenie nevhodnej vegetácie.

Návrh PPO a jeho umiestnenie v lokalite je iba ideový a zjednodušený návrh, pre presné umiestnenie ochranných stien by bolo potrebné navrhnuť na základe územno plánovacej dokumentácie (UPD) a s majiteľmi dotknutých pozemkov. Tak isto by bolo nutné vykonať geologický prieskum pre dobré založenie ochranných stien atď.

Po vlastnom návrhu PPO nasleduje jeho hydraulické overenie, kde sa overí jeho vhodnosť.

10.3 Hydraulické overenie návrhu

Overenie prebehlo tiež v programe HEC-RAS 5.0.5 (postup a okrajové podmienky vid'. kap. 8.1 a 9.1) , v ktorom sa upravilo koryto a drsnosť koryta a tak isto sa upravili LS. Úprava LS spočívala v ich zdvihnutí na určitú hodnotu v mieste návrhu PPO (obr. 10.18).



Obr. 10.18: Ukážka upravenej LS

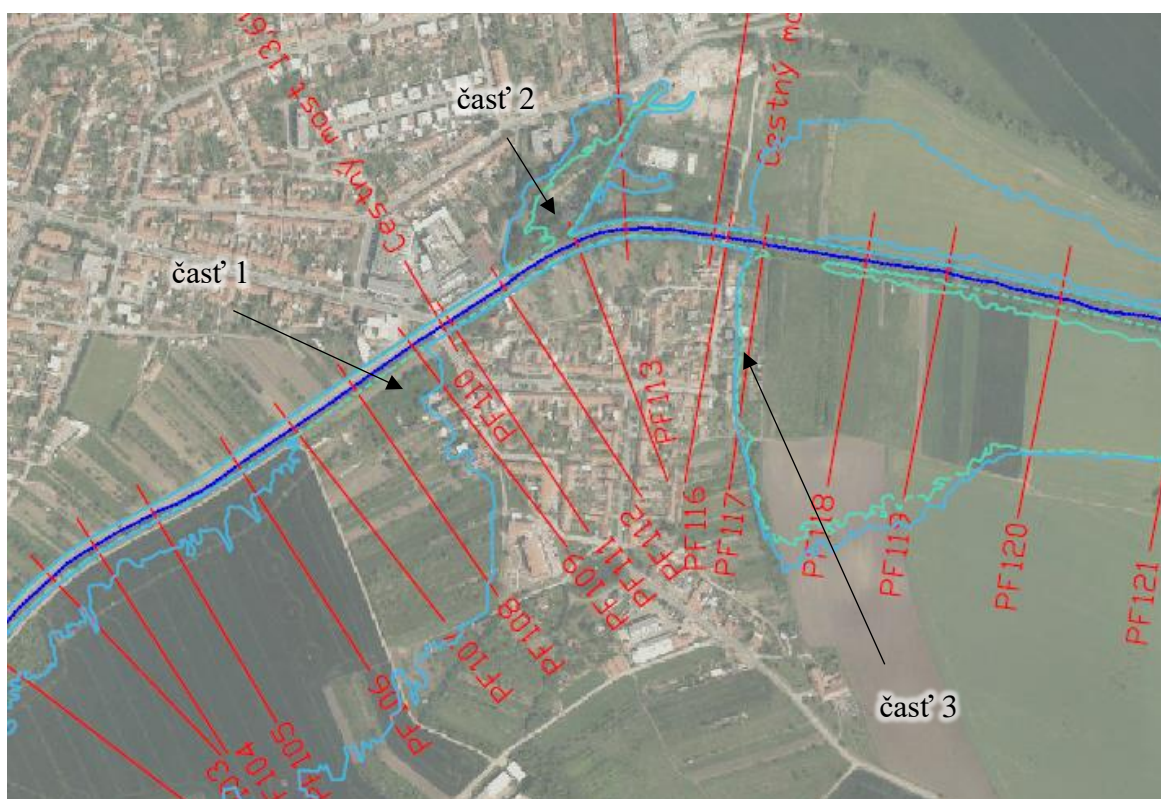
Po úpravách prebehol výpočet pre prietoky Q_{100} a Q_{20} . Znovu a vytvorila mapa rozlivov (príloha č. 9) a mapa hĺbok (príloha č. 10 a 11). Porovnávali sa rozlivy, ich veľkosť a zisťovalo sa, či navrhnutá protipovodňová ochrana chráni vybrané územia.

Po detailnom rozboře sa zistilo, že sa ochránili zastavené územia a rozlivy v týchto miestach už nie sú. Porovnanie je vidieť na mapách rozlivov pred návrhom PPO (príloha č. 4) a po návrhu PPO (príloha č. 9).

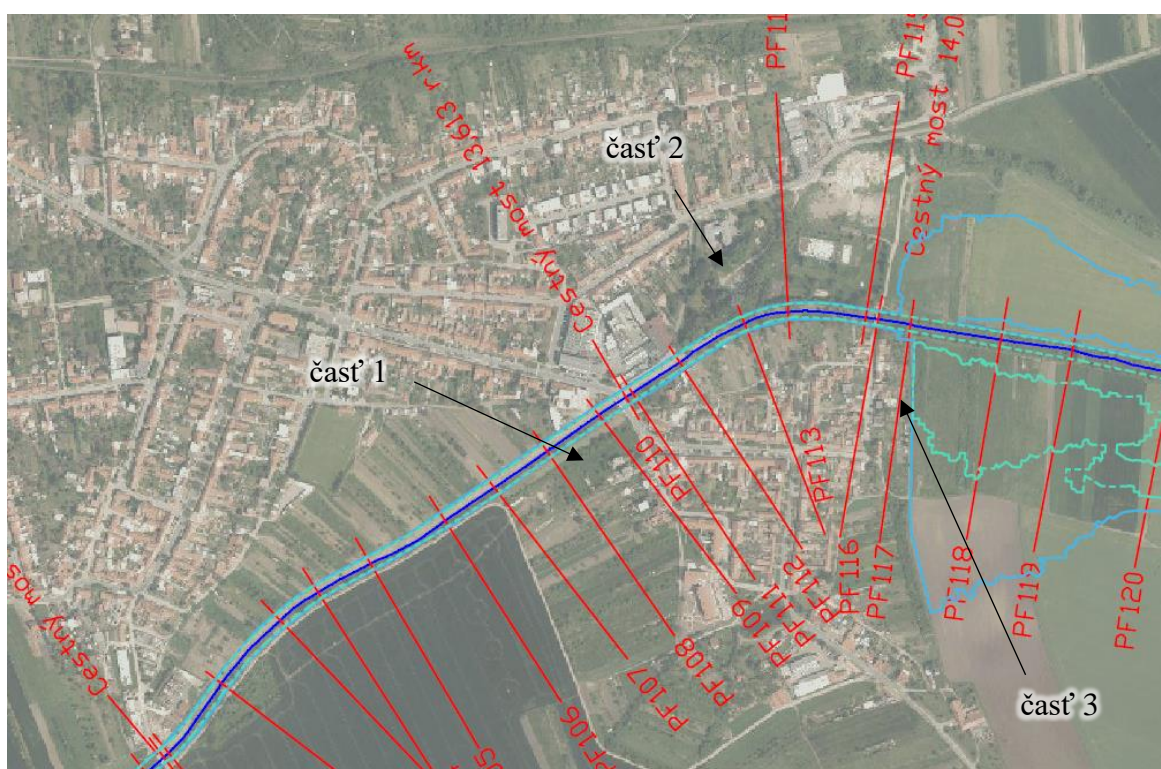
Porovnanie časť č. 1 – rozliv existujúceho stavu zasahuje pár rodinných domov a tak isto zasahuje aj do záhradkárskej časti (obr. 10.19), po pridaní PPO sa tento celý veľký ľavostranný rozliv úplne zrušil a ochránila sa zástavba aj záhradkárska oblasť (obr. 10.20).

Porovnanie časť č. 2 – v tomto pravostrannom úseku, ktorý je zaplavený vodou (obr. 10.19) sa nachádza park a tak isto miesto pre ďalší možný rozvoj mesta (nový výstavba) a preto je potrebné túto časť obce chrániť. Po návrhu PPO sa rozliv zamedzil ako je vidieť na obrázku 10.20. Nachádza sa tu Mlynský náhon a preto na tomto mieste bude pri povodni osadený uzáver.

Porovnanie časť č. 3 – rozliv v tejto časti zasahuje zástavbu len okrajovo to znamená dotýka sa rodinných domov a ich pozemkov a tak isto zasahuje aj do ďalšej časti, ktorá je pripravená pre ďalšiu výstavbu rodinných domov (obr. 10.19). PPO bola navrhnutá tak aby viedla popri poľnej cestičke a odrezala časť rozlivu a tým ochránila územie. Rozliv po návrhu PPO je vidieť na obrázku 10.20.



Obr. 10.19: Mapa rozlivov pred návrhom PPO v obci Újezd u Brna (část 1-3)



Obr. 10.20: Mapa rozlivov po návrhu PPO v obci Újezd u Brna (část 1-3)

Porovnanie časť č. 4 – na obrázku 10.21 je vidieť, že obec Šaratica čiastočne zaplavená vodou a na obrázku 10.22 je vidieť, že po návrhu PPO sa tam rozliv už nenachádza a oblasť je tým pádom dostatočne chránená.



Obr. 10.21: Mapa rozlivov pred návrhom PPO v obci Šaratica (časť 4)



Obr. 10.22: Mapa rozlivov po návrhu PPO v obci Šaratica (časť 4)

V záujmovej oblasti sa nachádza veľa miest, kde rozliv vody ničomu neškodí. Tam, kde nie je potrebné chrániť zastavené územie sa ochranné steny nenavrhovali a zachoval sa voľný rozliv na polia alebo lúky. Pričom veľkosť povolených rozlivov sa nezväčšila ale zostala približne rovnaká vid'. príloha č. 4 a 9.

Ďalej sa pomocou programu Q-GIS porovnávali hĺbky vody pred návrhom PPO a po návrhu na základe vytvorených máp hĺbok. Voda v korte sa znížila o približne 10 cm a v niektorých rozlivoch sa hĺbka zväčšila o 2-5 cm, čo v tomto prípade ničomu neškodí, pretože voda sa po návrhu nachádza iba v extravilánoch. Detailné rozdelenie hĺbok vody v záujmovom území pred návrhom PPO vo forme máp hĺbok sa nachádza v prílohe č. 5 a 6, a po vlastnom návrhu príloha č. 10 a 11.

Záverom hydraulického overenia je, že vlastný návrh PPO je vyhovujúci, pretože sa podarilo ochrániť zastavené časti záujmovej lokality.

11 ZÁVER

Na základe poskytnutých podkladov, tak isto aj na základe osobnej prehliadky záujmovej oblasti bol vytvorený 1D-2D numerický model prúdenia vody v programe HEC-RAS 5.0.5 v záujmovom území rieky Litava na riečnom kilometri 11,505 – 18,315.

Na začiatku sa overila kapacita na základe 1D modelu pre prietoky $Q_1 - Q_{100}$ a potom nasledovalo určenie rozlivov, záplavových území a hĺbok pomocou 2D modelu. Z týchto údajov sa vytvorili mapy hĺbok Q_{20} a Q_{100} a mapy rozlivov Q_{20} a Q_{100} .

Ďalej pomocou týchto výpočtov bol vytvorený vlastný ideový návrh PPO, ktorý spočíval vo vytvorení ochrannej bariéry pomocou ŽB stien do výšky 1,0 m a tam, kde voda dosahovala väčších hĺbok ako 1,0 m bolo navrhnuté mobilné hradenie. Tak isto sa navrhla aj malá úprava dna koryta toku a odstránenie nepotrebnéj vegetácie. Veľa zaplavených oblastí sa nachádza najmä v extravilánoch (polia, lúky), kde bol navrhnutý povolený rozliv na odľahčenie koryta pri príchodu povodne.

Na záver prebehlo pomocou programu HEC-RAS 5.0.5 hydraulické overenie vlastného návrhu protipovodňovej ochrany a vytvorili sa mapy s výsledkami po navrhnutí protipovodňovej ochrany. Po prepočítaní a porovnaní výsledkov pred a po návrhu PPO vlastný návrh vyhovel, to znamená, že protipovodňová ochrana je vhodne navrhnutá a chráni potrebné zastavené miesta.

12 LITERATÚRA

- [1] JANDORA, JAN a JAN ŠULC. *Hydraulika: Modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-512-9
- [2] GARY W. a BRUNNER. *HEC-RAS River Analysis system: Hydraulic Reference Manual* [online]. Version 5.0 Davis California, 2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HECRAS%205.0%20Modeling%20Users%20Manual.pdf>
- [3] KÜHBACHER, CHRISTIAN. *Shallow Water: Derivation and Applications* [online]. In: . s. 1-102 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://www.mathematik.tudortmund.de/lsiii/cms/papers/Kuehbacher2009.pdf>
- [4] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2018-11-21]. Dostupné z: <http://mapy.cz>
- [5] HRUBAN, ROBERT. *Moravské Karpaty: Litava* [online]. 28.3.2017 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/hydrografie/litava/#more-5728>
- [6] *Povodí Moravy: Plán oblasti povodí Dyje* [online]. 2009 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/pop/2009/Dyje/end/a-popis/a-1.html#a>
- [7] *Česká geologická služba: Mapová aplikace* [online]. [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=578629&x=1167772&r=10000&s=1&legselect=0
- [8] *Jihomoravský kraj: Studie protipovodňových opatření na území jihomoravského kraje* [online]. květen 2007, , 23 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/protipovodnova_opatreni_jmk_2007/2_cast/Kapitola_2.pdf
- [9] Státní vodohospodářský plán republiky Československé: Hlavní povodí Moravy, dílčí SVP XXII, SVRATKA díl I. textová část. Praha: Ústřední správa vodního hospodářství, 1954, s. 29, 34 – 37, 77.
- [10] JANDORA, J., UHMANOVÁ, H. *Proudění v systémech říčních koryt*. Brno: Akademické nakladatelství CERM®, 2006. ISBN 80-214-1160-0
- [11] *AutoCAD Civil 3D: Co je Autodesk Civil 3D? Cadstudio* [online]. [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/civil3d>
- [12] *What is GIS? Esri* [online]. [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://www.esri.com/what-is-gis>
- [13] *Protipovodňová opatření v Česko-Slovenském příhraní. Možnosti řešení povodňových situací* [online]. 2012 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://www.cs-povodne.eu/Protipovodnova-ochrana-a-povodne/Protipovodnova-opatreni>
- [14] JUST, TOMÁŠ. *Regionální pracoviště Střední Čechy: Přírodě blízká protipovodňová ochrana (PBPPO)* [online]. 2014 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/prirode-blizka-protipovodnova-ochrana-pbppo/>

- [15] *Katalog protipovodňových opatření kulturních památek: Přehled PPO* [online]. [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/prirode-blizka-protipovodnova-ochrana-pbppo/>
- [16] *Protipovodňová opatření Bechyně – Zářečí: Vzorové řezy bariérou*, [cit. 2018-11-02]. VH – TRES spol. s.r.o.
- [17] *Plán hlavních povodí České republiky: schválený usnesením vlády ČR ze dne 23. května 2007 č. 562*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2007. ISBN 9788070846322.

13 ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obr. 4.1: Schéma pre výpočet nerovnomerného prúdenia
- Obr. 5.1: Schéma pre výpočtovej oblasti
- Obr. 6.1: Lokalizácia riešeného územia rieky Litava
- Obr. 6.2: Lokalizácia riešeného územia rieky Litava v povodí
- Obr. 6.3: Geologické pomery v záujmovej lokalite
- Obr. 6.4: Špecifický odtok z oblasti
- Obr. 6.5: Klimatické oblasti povodia Svratky (QUITT 1970)
- Obr. 6.6: Cestný most na začiatku úseku 11,531 r. km (pohľad v proti smere prúdenia)
- Obr. 6.7: Cestný most 16,705 r. km (pohľad v smere prúdenia)
- Obr. 6.8: Cestný most 17,636 r. km (pohľad v proti smere prúdenia)
- Obr. 7.1: Ukážka práce v programe Q-Gis
- Obr. 7.2: Digitálny model terénu 5. generácie vložený do programu HEC-RAS
- Obr. 7.3: Vkladanie PF do programu HEC-RAS a nastavenie drsnosti
- Obr. 7.4: Vytváranie mostných objektov v programe HEC-RAS
- Obr. 7.5: Vytvorenie laterálnych štruktúr a 2D oblasti v programe HEC-RAS
- Obr. 8.1: Okrajové podmienky vložené do programu HEC-RAS
- Obr. 8.2: Podmienka Normal Depth zadaná sklonom v programe HEC-RAS
- Obr. 8.3: Ukážka menej kapacitného profilu PF146
- Obr. 8.4: Ukážka mostného objektu č.6 s $Q_{MAX}=Q_{50}$
- Obr. 8.5: Ukážka mostného objektu č.1 s $Q_{MAX}=Q_{100}$
- Obr. 9.1: Ukážka upravenej Laterálnej štruktúry
- Obr. 9.2: Ukážka 2D oblasti v záujmovom území
- Obr. 9.3: Nastavenie okrajových podmienok pre neustálené prúdenie
- Obr. 9.4: Nastavenie výpočtu neustáleného prúdenia
- Obr. 9.5: Rozliv Q20 v Újezdu u Brna, kde je nutné navrhnuť PPO
- Obr. 9.6: Rozliv Q100 v Újezdu u Brna, kde je nutné navrhnuť PPO
- Obr. 9.7: Rozliv Q100 v Šaraticiach, kde je nutné navrhnuť PPO
- Obr. 10.1: Delenie PPO podľa konštrukčnej podstaty
- Obr. 10.2: Ochranná hrádza v lokalite Bratislava – rieka Morava
- Obr. 10.3: Priečny rez - votknutá stena
- Obr. 10.4: Výstavba ŽB votknutej povodňovej steny vo Veselí nad Lužnicí
- Obr. 10.5: Priečny rez - uhlová stena
- Obr. 10.6: Uhlová ŽB stena v povodí Vltavy
- Obr. 10.7: Priečny rez v mieste hradidiel/v mieste stĺpiku - uhlová stena + mobilné hradenie
- Obr. 10.8: Kombinácia povodňovej steny s mobilným hradením v Holešoviciach

Obr. 10.9: Priečny rez v mieste hradidiel/v mieste stĺpiku - uhlová stena do úrovne terénu + mobilné hradenie + štetová stena

Obr. 10.10: Priečny rez v mieste hradidiel/v mieste stĺpiku - uhlová stena do úrovne terénu + mobilné hradenie

Obr. 10.11: Mobilne protipovodňové hradenie v Prahe

Obr. 10.12: Návrh výšky ochrannej hrádze č.1

Obr. 10.13: Ukážka zakreslenie PPO (časť 1-3)

Obr. 10.14: Návrh výšky ochrannej hrádze č.2

Obr. 10.15: Návrh výšky ochrannej hrádze č.3

Obr. 10.16: Návrh výšky ochrannej hrádze č.4

Obr. 10.17: Ukážka zakreslenie PPO (časť 4)

Obr. 10.18: Ukážka upravenej LS

Obr. 10.19: Mapa rozlivov pred návrhom PPO v obci Újezd u Brna (časť 1-3)

Obr. 10.20: Mapa rozlivov po návrhu PPO v obci Újezd u Brna (časť 1-3)

Obr. 10.21: Mapa rozlivov pred návrhom PPO v obci Šaratice (časť 4)

Obr. 10.22: Mapa rozlivov po návrhu PPO v obci Šaratice (časť 4)

14 ZOZNAM TABULIEK

Tab. 6.1: N- roční prietoky z hlásneho profilu pod Milešovským potokom

Tab. 6.2: Tabuľka klimatických charakteristík

Tab. 8.1: Posúdenie kapacity z 1D modelovania na 61 profiloch záujmového úseku

Tab. 8.2: Posúdenie kapacity z 1D modelovania mostných objektoch záujmového úseku

Tab. 9.1: Porovnanie výšky hladín 2D výpočtu

15 ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV

ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DMR5G	digitálny model terénu piatej generácie
K.Ú.	koniec úseku
LB	ľavý breh
LS	laterálna štruktúra
MVV	medzná voľná výška
PB	pravý breh
PF	priečny profil
PBPPPO	prírode blízka protipovodňová ochrana
PPO	protipovodňová ochrana
r. km	riečny kilometer
TBD	technicko bezpečnostný dozor
UPD	územno plánovacia dokumentácia
ZM25	základná mapa m mierke 1:25000
Z.Ú.	začiatok úseku
ŽB	železobetón

C	[-]	Chézyho súčiniteľ
f	[-]	Coriolisov parameter
g	[m/s ²]	tiažové zrýchlenie
h	[m]	výška hladiny vody
h_{mj}	[m]	miestne straty
h_{tj}	[m]	straty trením po dĺžke
h_{zj}	[m]	celková stratová výška
i_{0j}	[-]	priemerný sklon dna
i_{pj}	[-]	priemerný sklon čiary energie
Q	[m ³ /s]	prietok
Q_m	[m ³ /s]	m-denný prietok
Q_N	[m ³ /s]	N-ročný prietok
R	[m]	hydraulický polomer
S	[m ²]	plocha profilu
t	[s]	čas
T	[Pa]	turbulentné smykové napätie
v	[m/s]	rýchlosť v profile

v_s	[m/s]	zvislicová rýchlosť
v_{xs}	[m/s]	vektor rýchlosti v smere x
v_{ys}	[m/s]	vektor rýchlosti v smere y
α	[-]	Coriolisovo číslo
Δh	[m]	rozdiel hladín na úseku
ΔL	[m]	úsek dĺžky
ζ	[-]	súčiniteľ miestnej straty
μ_t	[-]	turbulentná viskozita
τ	[-]	smykové napätia v dne a hladine

16 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č. 1 – Fotodokumentácia

Príloha č. 2 – Situácia širších vzťahov

Príloha č. 3 – Situácia záujmovej lokality

Príloha č. 4 – Mapa rozlivov Q_{100} a Q_{20} pred návrhom PPO

Príloha č. 5 – Mapa hĺbok Q_{100} pred návrhom PPO

Príloha č. 6 – Mapa hĺbok Q_{20} pred návrhom PPO

Príloha č. 7 – Situácia s navrhnutou PPO

Príloha č. 8 – Rez navrhnutou PPO

Príloha č. 9 – Mapa rozlivov Q_{100} a Q_{20} po návrhu PPO

Príloha č. 10 – Mapa hĺbok Q_{100} po návrhu PPO

Príloha č. 11 – Mapa hĺbok Q_{20} po návrhu PPO